

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-244082

(43)Date of publication of application : 02.09.1994

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G03B 27/32

G03F 7/20

(21)Application number : 05-030019

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 19.02.1993

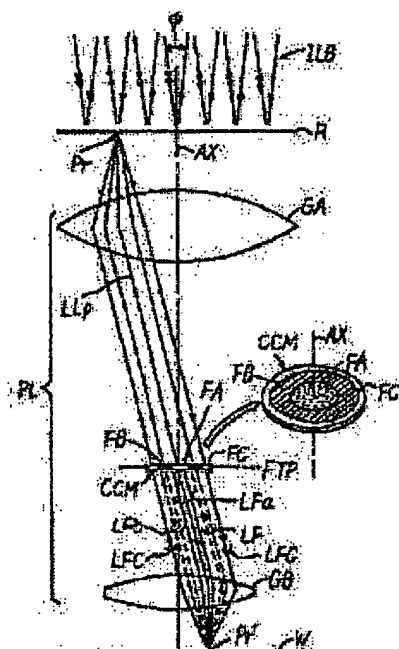
(72)Inventor : SHIRAISHI NAOMASA

(54) PROJECTION EXPOSURE DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To enlarge focus depth during projection exposure of a contact hole pattern.

CONSTITUTION: A coherence reduction member CCM for reducing coherence between an imaging luminous flux LFb passing through a ring band transmission part FB whose center is an optical axis on a pupil surface of a projection optical system PL and imaging luminous flux LFa, LFc passing through an inner transmitting part FA and an outer transmission part FC thereof is arranged in the pupil surface. Furthermore, an SFINCS method is applied which converts at least two imaging luminous fluxes (LFa, LFc), LFb to incoherent state by providing a phase shifter for providing phase difference of $(2m+1)\pi$ [rad] between imaging light LFa of the transmission part FA and imaging light LFc of the transmission part FC.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-244082

(43)公開日 平成6年(1994)9月2日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/027

G 0 3 B 27/32

G 0 3 F 7/20

F 8102-2K

5 2 1

7316-2H

7352-4M

H 0 1 L 21/ 30

3 1 1 N

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 23 頁)

(21)出願番号

特願平5-30019

(22)出願日

平成5年(1993)2月19日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 白石 直正

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

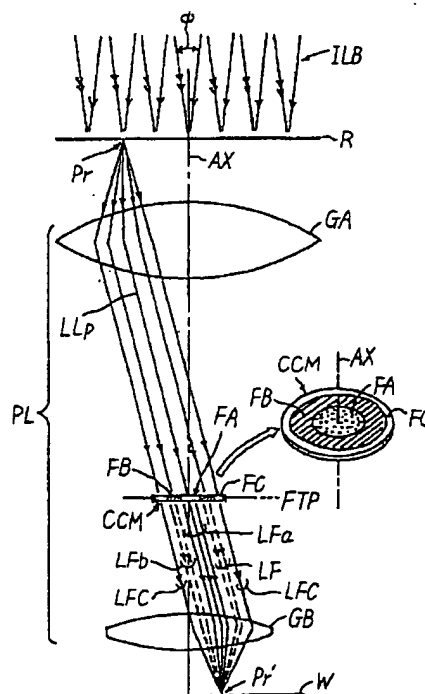
式会社ニコン内

(54)【発明の名称】 投影露光装置

(57)【要約】

【目的】 コンタクトホールパターンの投影露光時の焦点深度を拡大する。

【構成】 投影光学系 P L の瞳面上の光軸を中心とする輪帯透過部 F B を通過する結像光束 L F b と、その内側透過部 F A 及び外側透過部 F C を通過する結像光束 L F a 、 L F c との間の干渉性を低減させる干渉性低減部材 C C M を瞳面に配置する。さらに、透過部 F A の結像光 L F a と透過部 F C の結像光 L F c との間に $(2m+1)\pi$ [rad] の位相差を与える位相シフターを設けることにより、少なくとも2つの結像光束 (L F a 、 L F c)、L F b をインコヒーレントな状態に変換する S F I N C S 法を適用する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】微細なパターンが形成されたマスクを露光用の照明光で照射する照明手段と、前記マスクのパターンから発生した光を入射して前記パターンの像を感光基板上に結像投影する投影光学系とを備えた投影露光装置において、

前記マスクと前記感光基板との間の結像光路内のフーリエ変換面上、又はその近傍面上の光軸を中心とする内半径 r_1 、外半径 r_2 の輪帯状領域内に分布する結像光と、該輪帯状領域の内側、及び外側に分布する結像光との間の干渉性を低減させるとともに、前記輪帯状領域の内半径 r_1 と外半径 r_2 の比 r_2/r_1 をほぼ1.7から2.0の間に定めた干渉性低減手段と；前記輪帯状領域の内側に分布する結像光と前記輪帯状領域の外側に分布する結像光との間に、ほぼ $(2m+1)\pi$ [rad] (m は整数)の位相差を与える位相シフト手段とを備えたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】前記輪帯状領域の内半径 r_1 と外半径 r_2 との平均値と、前記フーリエ変換面の半径 r_3 の比を0.70~0.75程度に定めたことを特徴とする請求項1に記載の投影露光装置。

【請求項3】前記輪帯状領域の内側の透過率を前記輪帯状領域の外側の透過率よりも低くする減光手段を備えたことを特徴とする請求項第1項、又は第2項に記載の投影露光装置。

【請求項4】前記干渉性低減手段として、異なる領域に分布する結像光にコヒーレント長以上の光路差を与える時間的コヒーレント低減部材を用いることを特徴とする請求項第1項から第3項のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項5】前記干渉性低減手段として、異なる領域に分布する結像光の偏光状態を相互に干渉し合わない状態とする偏光制御部材を用いることを特徴とする請求項第1項から第3項のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項6】前記照明手段は、輪帯照明系、又は変形光源系であることを特徴とする請求項第1項から第5項のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は半導体集積回路、液晶ディスプレイ等の微細パターンの形成に用いる投影型露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】この種の投影型露光装置に使われている投影光学系は、高度な光学設計、硝材の厳選、硝材の超精密加工、及び精密な組立て調整をへて装置内に組み込まれる。現在、半導体製造工程では水銀ランプのi線(波長365nm)を照明光としてレチクル(マスク)を照射し、そのレチクル上の回路パターンの透過光を投影光学系を介して感光基板(ウェハ等)上に結像するス

テッパが主に使われている。また評価用、あるいは研究用としてエキシマレーザ(波長248nmのKrFレーザ)を照明光とするエキシマステッパも使われている。エキシマステッパ用の投影光学系は屈折レンズのみで構成した場合、使用できる硝材が石英やホタル石等に限定される。

【0003】一般に、投影光学系を用いた露光によって微細なレチクルパターンを感光基板へ忠実に転写するためには、投影光学系の解像力と焦点深度(DOF:デプスオブフォーカス)とが重要なファクタとなっている。現在実用化されている投影光学系のうち、i線用のもので開口数(NA)として0.6程度のものが得られている。使用する照明光の波長が同じであるとき、投影光学系の開口数を大きくすると、それに応じて解像力も向上する。しかしながら焦点深度(DOF)は開口数NAの増大に伴って減少する。焦点深度は照明光の波長を λ としたとき、 $DOF = \pm \lambda / NA^2$ によって定義される。

【0004】図1は従来の投影光学系の結像光路を模式的に表したものであり、投影光学系は前群のレンズ系GAと後群のレンズ系GBとによって構成される。この種の投影光学系はレチクルR側とウェハW側との両方をテレセントリックにしたもの、あるいはウェハW側のみをテレセントリックにしたものが一般的である。さて、図1においてレチクルRのパターン面(投影光学系の物体面)上に任意の3つの点A、B、Cを想定する。点Aから様々の方向に進む光線 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_a 、 $L_{a'}$ 、 $L_{a''}$ のうち、光線 L_1 は投影光学系のレンズ系GAに入射できないような角度で発生する。また、前群のレンズ系GAに入射した光線のうち、光線 L_2 、 L_3 は投影光学系内のフーリエ変換面FTPに位置する瞳epを通過することができない。そして他の光線 L_a 、 $L_{a'}$ 、 $L_{a''}$ は瞳epを通過して後群のレンズ系GBに入射し、ウェハWの表面(投影光学系の像面)上の点A'に収斂する。従って、レチクルR上の点Aから発生した光線のうち、投影光学系の瞳ep(光軸AXを中心とする円形領域)を通過した光線が点A'に点像を結像するのに寄与する。ここで点Aから点A'に向う光線のうち瞳epの中心点CC(光軸AXの位置)を通る光線 L_a を主光線と呼び、この主光線 L_a は両側がテレセントリックな投影光学系の場合、物体面側、像面側の夫々の空間で光軸AXと平行になっている。

【0005】またレチクルR上の他の点B、Cの夫々から発生した光線についても全く同じであり、瞳epを通過する光線のみが点像B'、C'の結像に寄与する。同様に点B、Cの夫々から光軸AXと平行に進んでレンズ系GAに入射する光線 L_b 、 L_c は、いずれも瞳epの中心点CCを通る主光線となる。このように瞳epはレチクルRのパターン面とウェハWの表面との夫々に対してフーリエ変換、及び逆フーリエ変換の関係にあり、レチクル上のパターンからの光線のうち結像に寄与する光

線は全て瞳epを重畳して通ることになる。

【0006】このような投影光学系の開口数は一般にウェハ側の値として表されている。図1において、点像A'の結像に寄与する光線のうち、瞳ep内の最外部を通る光線La'、La''がウェハW上で主光線Laと成す角度θwが、この投影光学系のウェハ(像面)側での開口数NAwに相当し、 $NAw = \sin \theta w$ で表される。従って光線La'、La''がレチクルR側で主光線Laと成す角度θrは、レチクル(物体面)側での開口数NArと呼ばれ、 $NAr = \sin \theta r$ で表される。さらに投影光学系の結像倍率をM(1/5縮小の場合はM=0.2)とすると、 $NAr = M \cdot NAw$ の関係にある。

【0007】ところで解像力を高めるためには、開口数NAw(NAr)を大きくする訳であるが、このことは換言すれば瞳epの径を大きくすること、さらにレンズ系GA、GBの有効径を大きくすることに他ならない。ところが、焦点深度DOFの方は開口数NAwの2乗に反比例して減少してしまうため、例え高開口数の投影光学系が製造できたとしても、必要な焦点深度が得られないことになり、実用上の大きな障害となる。

【0008】照明光の波長をi線の365nmとし、開口数NAwを0.6とすると、焦点深度DOFは幅で約1μm(±0.5μm)になってしまい、ウェハW上の1つのショット領域(20mm角〜30mm角程度)内で表面の凹凸や湾曲が焦点深度DOF以上の部分については解像不良を起こすことになる。またステッパーのシステム上でも、ウェハWのショット領域毎のフォーカス合わせ、レベリング等を格段に高精度に行う必要が生じ、メカ系、電気系、ソフトウェアの負担(計測分解能、サーボ制御精度、設定時間等の向上努力)が増大することになる。

【0009】そこで本件出願人は、このような投影光学系の諸問題を解決し、しかも特公昭62-50811号公報に開示されているような位相シフトレチクルを使わなくとも、高い解像力と大きな焦点深度との両方を得ることができる新たな投影露光技術を、特開平4-101148号公報、特開平4-225358号公報等で提案した。この露光技術は、投影光学系は既存のままで、レチクルへの照明方法を特殊な形体に制御することで見かけ上の解像力と焦点深度とを増大させるものであり、SHRINC(Super High Resolution by IllumiNation Control)法と呼んでいる。このSHRINC法は、レチクルR上のライン・アンド・スペースパターン(L&Sパターン)のピッチ方向に対称的に傾斜した2つの照明光(又は4つの照明光)をレチクルへ照射し、L&Sパターンから発生する0次回折光成分と±1次回折光成分の一方とを、投影光学系の瞳ep内で中心点CCに関して対称的に通し、2光束干渉(一方の1次回折光と0次回

折光との干渉)の原理を利用して、L&Sパターンの投影像(干渉縞)を生成するものである。

【0010】このように2光束干渉を利用した結像によると、デフォーカス時の波面収差の発生が従来の方法(通常の垂直照明)の場合よりも押さえられるため、焦点深度が大きくなるのである。ところが、このSHRINC法はレチクルR上に形成されるパターンがL&Sパターン(格子)のように、周期構造を持つときに所期の効果が得られるのであり、コンタクトホール等の孤立したパターンに対してはその効果が得られない。一般に、孤立した微小パターンの場合、そこからの回折光はほとんどフランフォーファ回折として発生するため、投影光学系の瞳ep内では0次回折光と高次回折光とに明確に分離しないためである。

【0011】そこで、コンタクトホール等の孤立パターンに対して見かけ上の焦点深度を拡大させる露光方法として、ウェハWの1つのショット領域に対する露光を複数回に分け、各露光の間にウェハWを光軸方向に一定量だけ移動させる方法が、例えば特開昭63-42122号公報で提案された。この露光方法はFLEX(Focus Latitude enhancement Exposure)法と呼ばれ、コンタクトホール等の孤立パターンに対しては十分な焦点深度拡大効果を得ることができる。ただしFLEX法は、わずかにデフォーカスしたコンタクトホール像を多重露光することを必須とするため、現像後に得られるレジスト像は必然的に鮮鋭度が低下したものとなる。この鮮鋭度低下(プロファイル悪化)の問題は、ガンマ値が高いレジストを用いたり、多層レジストを用いたり、あるいはCEL(Contrast Enhancement Layer)を用いたりすることで補うことができる。

【0012】またFLEX法のように露光動作中にウェハWを光軸方向に移動させなくても、コンタクトホールパターンの投影時の焦点深度を拡大する試みとして、1991年春季応用物理学会の予稿集29a-ZC-8、9で発表されたSuper-FLEX法も知られている。このSuper-FLEX法は、投影光学系の瞳epに透明な位相板を設け、この位相板によって結像光に与えられる複素振幅透過率が光軸AXから周辺に向かって順次変化するような特性を持たせたものである。このようにすると、投影光学系によって結像された像はベストフォーカス面(レチクルRと共役な面)を中心に光軸方向に一定の幅(従来よりは広い)でシャープさを保つことになり、焦点深度が増大するのである。

【0013】尚、上記のSuper-FLEX法の如く投影光学系の瞳面でのフィルタリングにより透過率分布や位相差を変化させ焦点深度を向上する方法は多重焦点フィルター法として一般に知られている。多重焦点フィルターについては、昭和36年1月23日付で発行された機械試験所報告第40号の「光学系における結像性能

とその改良方法に関する研究」と題する論文中の第41頁～第55頁に詳しく述べられている。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】以上で述べた各種従来技術のうち、FLEX法、及びSuper FLEX法では、孤立的なコンタクトホールパターンに対して十分な焦点深度の増大効果を得ることができる。しかしながら、ある程度接近した複数のコンタクトホールパターンでは、ホール間のフォトレジストに不要な膜べりを生じさせてしまい、事実上使用することが困難になることがわかった。

【0015】さらに、FLEX法では、孤立的なコンタクトホールパターンについてもその像（多重露光で得られる合成光学像）のシャープネスを必然的に悪化させるために、焦点深度は増大しても露光量裕度が減少するという問題もある。また露光作業中にウェハを光軸方向に連続的に移動又は振動する方式のFLEX法では走査露光方式の露光装置への適用が難しく、また露光を第1の露光と第2の露光に分割し、各露光間にウェハを光軸方向に移動する方式では処理能力の低下が大きく、スループットが著しく低下するという問題がある。

【0016】そこで本発明は、コンタクトホール等の孤立したパターンの投影露光の際に、焦点深度を拡大した投影露光装置を得ることを目的とし、特に比較的接近した複数の孤立パターンに対しても忠実な転写を可能とし、同時に焦点深度拡大効果が得られる装置を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記問題点の解決の為に本発明では、微細なパターンが形成されたマスク（レチクルR）を露光用の照明光で照射する照明手段（1～14）と、マスクのパターンから発生した光を入射してパターンの像を感光基板（ウェハW）上に結像投影する投影光学系（PL）とを備えた投影露光装置において、マスクと感光基板との間の結像光路内のフーリエ変換面（FTP）、又はその近傍面に配置され、フーリエ変換面上、又はその近傍面上の投影光学系の光軸を中心とする輪帯状領域（FB）内に分布する結像光と、その内側領域（FA）及び外側領域（FC）に分布する結像光との間の干渉性を低減させる干渉性低減手段（CCM）を設けた。さらに、上記の輪帯状領域の内側領域に分布する結像光と外側領域に分布する結像光とに $(2m+1)\pi$ [rad] (mは整数)の位相差を与える位相シフターを設けるようにした。そして、それらの領域の各径の比を最適化した。

【0018】

【作用】本発明においては、レチクルパターン面に対して、光学的にフーリエ変換の関係となる投影光学系内の面（以後瞳面と略す）、又はその近傍面に干渉性低減部材を設け、その瞳面内で円形または輪帯状に分布する結

像光の一部と、それ以外の部分に分布する結像光とを互いに干渉し合わない状態とする。この結果レチクルパターン中の、特にコンタクトホールパターンを透過、回折した露光光束（結像光）は瞳面内で干渉し合わない2つの光束に空間的に分割され、ウェハ等の被露光体に到達する。ウェハ上でも2つの光束は干渉し合わない（インコヒーレントである）ために、それぞれの光束が作り出す像（コンタクトホールの像）の光量上での強度合成像が得られる。従来の露光方式ではレチクル上の微小コンタクトホールパターンを透過、回折した光束は投影光学系を経てウェハ面に達すると、ここですべて振幅的に合成（コヒーレント加算）されてレチクルパターンの像（光学像）を形成していた。従来のSuper FLEX法においても、瞳面に分布する結像光を部分的に位相シフトさせているだけなので、コヒーレント加算であることに変わりはない。

【0019】さて、投影光学系の瞳面に位相シフト板等がないものとする、ベストフォーカス（合焦状態）では、レチクル上の任意の1点からウェハ上の対応する像点までの光路長は投影光学系中のどこか光線路を通るのかにかかわらずすべて等しく（フェルマーの原理）、従ってウェハ上の振幅合成は位相差のない光の合成となり、すべてコンタクトホールパターンの強度を増大する方向に作用する。

【0020】ところがウェハがデフォーカス（ウェハ表面とベストフォーカス面との光軸方向のずれ）すると、上記の光路長は投影光学系内の光線路によって異なった長さとなる。この結果上記の振幅合成は光路差（位相差）を有する光の加算となり、一部で相殺効果が生じ、コンタクトホールパターンの中心強度を弱めることになる。このとき生じる光路差はウェハ上の1つの像点に入射する任意の光線の入射角を θ とし、かつウェハに垂直に入射する光線（主光線）の光路長を基準（=0）とすると、ほぼ $1/2 (\Delta F \cdot \sin^2 \theta)$ と表される。ここで ΔF はデフォーカス量を表す。 $\sin \theta$ の最大値は投影光学系のウェハ側の開口数NAwであるから、従来の如く微小ホールパターンからの回折光のうち瞳epを通過したすべての光がウェハ上で振幅合成される場合、最大で $1/2 (\Delta F \cdot \text{NAw}^2)$ の光路差を生じてしまうことになる。このとき焦点深度として $\lambda/4$ の光路差までを許容すると仮定すれば、以下の関係が成り立つ。

$$\text{【0021】 } 1/2 (\Delta F \cdot \text{NAw}^2) = \lambda/4$$

この式をまとめ直すと、 $\Delta F = \lambda / (2 \text{NAw}^2)$ となって一般に言われる焦点深度幅と一致する。例えば露光用照明光波長として現在使われているi線（波長0.365 μm ）を前提とし、開口数としてNAw=0.50を想定すると、焦点深度 $\pm \Delta F/2$ は $\pm 0.73 \mu\text{m}$ となり、ウェハ上のプロセス段差1 μm 程度に対してほとんど余裕のない値となっている。

【0022】以上の原理を模式的に表したものが図6で

ある。図6の横軸は光軸を中心(0)とした瞳の径方向の距離を表す。図6(A)中の t_c は瞳の振幅透過率を表すが、通常の結像では瞳面には位相シフト板や、吸光物質を置かないので、コンスタントに+1の振幅透過率となっている。図6(B)はウェハに入射する光束の角度範囲を表し、 $\sin \theta_n = NA$ (ウェハ側開口数)であり、最大値は θ_w 、 NA_w である。

【0023】さて、瞳面に位相板等がなく、かつ $-\theta_n$ から $+\theta_n$ の入射角度範囲の光がウェハに達するとき、すなわちベストフォーカス($\Delta F=0$)状態のときは、図6(C)に示すように、レチクル上の一点とウェハ上の像点との光路長さ ΔLCO はウェハへの入射角度又はその正弦(\sin)によらず等しくなる($\Delta LCO=0$)。一方、ウェハWが $\Delta F=F$ だけデフォーカスすると上記の光路長さは入射角度(θ)の正弦に応じて $1/2 \Delta F \sin^2 \theta$ だけ異なってくる。これを図6

(D)に示す。 $\theta=0$ から $\sin \theta = NA_w$ の間には ΔLCF だけの光路差(デフォーカスによる波面収差)が生じる。この光路差(波面収差)が像のプロファイルが悪化させる。これがすなわちデフォーカスによる像の劣化である。

【0024】一方、図7はいわゆる多重焦点フィルターの1例として2重焦点フィルターによる結像の原理を模式的に示すものである。ここでは図7(A)のように2重焦点フィルターとして瞳面の中心部と周辺部で透過光の位相を π [rad]だけ異ならしめるフィルターを用いる。すなわちフィルターの振幅透過率は中心(円形領域)で負、周辺(輪帯領域)で正となるが、この符号関係は相対的なものであり、正負を反対にしても勿論構わない。

【0025】振幅透過率が負である領域は、図7(B)のようにウェハへの入射角として、 $-\theta_1 < \theta < \theta_1$ であり、振幅透過率が正である領域はウェハへの入射角として、 $-\theta_w < \theta < \theta_1$ 及び $\theta_1 < \theta < \theta_w$ となる($\sin \theta_1 = NA_1$ とする)。さて、レチクル上の一点からウェハ上の像点までの光路長さは、図7(C)のように使用する2重焦点フィルタのためにベストフォーカス($\Delta F=0$)においても $\Delta LFO = \lambda/2$ だけの光路差を含んでいる。このためベストフォーカス($\Delta F=0$)における像は、通常の(2重焦点フィルターを用いない)場合の像よりもむしろ劣化したものとなる。ところが、 $\Delta F=F$ のデフォーカス状態においては、図7

(D)のように2重焦点フィルターの位相シフト効果により発生する位相差 ΔLFF を、図6(D)の通常の光路長さ ΔLCF よりも少なくすることができる。従って、2重焦点フィルターによりある程度デフォーカスした位置での像を改善できることとなり、焦点深度を増大することができる。

【0026】尚、上記の説明では片側(正方向)のみのデフォーカスを考えたが、逆側(負方向)のデフォーカ

スに対しても同様に2重焦点フィルターの効果は表れる。逆側のデフォーカスでは、図6(D)、図7(D)共に放物線が上に凸となるが、このとき図6(D)中で $-NA_w \sim -NA_1$ 、及び $NA_1 \sim NA_w$ の間に相当する光束は、図7(D)に示した $-NA_1 \sim NA_1$ の間の光束より1波長分ずれた(一侧)の光束と干渉し、従って $\Delta F=-F$ の場合も光路差は同様に ΔLFF となる。

【0027】一方、本発明では図2に示すように、投影光学系の瞳面(FTP)に干渉性低減部材CCMを設ける。このとき、レチクルRのパターン面に形成された孤立パターンPrで回折した結像光束(主光線はLLp)は投影光学系PLの前群レンズ系GAに入射した後、フーリエ変換面FTPに達する。そしてフーリエ変換面FTPにおいて、瞳面ep内の中心部の円形状透過部分FA及び周辺部の輪帯状透過部FCを透過する光束(それぞれLfa、Lfc)と、中間部の輪帯状透過部FBを透過する光束(Lfb)とが互いに干渉し合わない状態に制御(変換)される。このため、ウェハW上では干渉性低減部材CCMの円形状の透過部FA及び周辺の輪帯状透過部FCを透過した光束Lfa、Lfcと、中間の透過部FBを通過した光束Lfbとは干渉を起こさない。その結果、中心透過部FA及び周辺透過部FCからの光束Lfa、Lfcと中間部FBからの光束Lfbとはそれぞれ独立して自分自身のみで干渉し合い、それぞれホールパターンの像(強度分布)Pr'を形成する。すなわち光束Lfa、Lfcのみの干渉によってウェハW上に生成される像と、光束Lfbのみの干渉によって生成される像とを、単純に強度的に加算したものが、本発明によって得られるコンタクトホール等の孤立パターンの像Pr'となる。

【0028】尚、レチクルRへの照明光ILBは従来と同様に一定の開口数 $\sin \psi/2$ をもつものとする。但し、投影光学系PLのレチクル側の開口数 NA_r に対しては、 $NA_r > \sin \psi/2$ の条件に設定される。そこで、本発明における結像原理を、さらに図3、図4、及び図5を参照して説明する。図3は本発明で用いる瞳フィルターとしての干渉性低減部材CCMの平面図及び振幅透過率を表す。

【0029】前述の如く中心の半径 r_1 の円形透過部FA、及び周辺の内半径 r_2 の輪帯状透過部FCに対して、中間部の内半径 r_1 、外半径 r_2 の輪帯状透過部FBには、上記透過部FA、FCの各透過光との干渉性を低減する部材が設けられている。従って、透過部FA、FCと透過部FBとの振幅透過率を同一の座標上に表すことはあまり意味がない。なぜなら、2つの透過部FA、FCの各透過光(Lfa、Lfc)と透過部FBの透過光(Lfb)とは、振幅的に合成(干渉)し合うことがないからである。従って図3では、図3(B)、

(C)のように夫々の振幅透過率を別々に、 $|a\rangle$ (ケットa)、及び $|b\rangle$ (ケットb)として表した。この

$|a\rangle$ 、 $|b\rangle$ は互いに干渉しない光を意味する。
 【0030】 $|a\rangle$ （透過部FAとFCの振幅透過率）については、本発明では両部の透過光に $(2m+1)\pi$ [rad]の位相差を与える位相シフト手段を用いるので、中央部（FA）と周辺部（FC）では逆符号となる。図3（B）中では中心を負とし、外周を正としたが、この符号関係は相対的なものなので、正負を逆の関係にしても構わない。また図3（C）に示すように、中間の輪帯透過部FBの振幅透過率はここでは正としたが、この値はその絶対値が1であればどのようなものであっても良い、また、図3（C）の振幅透過率と図3（B）の振幅透過率とは全く無関係なものである。

【0031】図4の如く、中間の輪帯透過部FBを通る光束LFb内での振幅合成では、光束LFbのウェハへの入射角度 θ は輪帯透過部FBの半径 r_1 、 r_2 に対応して $\theta_1 < \theta < \theta_2$ の範囲となるので、 $\Delta F = F$ のときの光路長差 ΔL は図4（D）のように $\Delta LBF = 1/2 F (\sin^2 \theta_2 - \sin^2 \theta_1)$ となる。勿論、 $\Delta F = 0$ では、図4（C）のように光路長差 ΔLBO は0である。

【0032】一方、図5の如く中心透過部FA、及び周辺透過部FCの透過光Lfa、LFbによる像（振幅合成）は、透過率分布 $|a\rangle$ が前述の2重焦点フィルターと同様になっている。従って、ベストフォーカス $\Delta F = 0$ においても、図5（C）のように $\Delta LAO = \lambda/2$ の光路長差を生じるが、 $\Delta F = F$ のデフォーカス時には光路長差が図5（D）のように ΔLAF 程度となり、ベストフォーカス時（ $\Delta F = \pm F$ ）の方が波面収差が少ない、すなわちプロファイルの良い像が得られることになる。

【0033】第1の光束Lfa及びLFcと第2の光束LFbは互いには干渉し合わないので、光束Lfa、LFcのみの干渉による像Pr1と、光束LFbのみの干渉による像Pr2の劣化は、各光束内での光路長差 ΔLBF 、 ΔLAO 、 ΔLAF のみに起因する。これらの光路長差のうち、 ΔLBF 、 ΔLAF については、図4、5より明らかなように、従来の $\Delta F = F$ のデフォーカス時の光路長差 $\Delta LCF = 1/2 F NA^2 w$ より小さく、また $\Delta LAO = \lambda/2$ については2重焦点フィルター用の光路長差であり、一概に像を悪化させるものではない。

【0034】この結果、本発明では同一量のデフォーカス時において、従来の結像より光路長差を少なくすることができ、すなわちより大きな焦点深度を得ることができる。このように投影光学系PLの瞳面epにおいて、結像光束を互いに干渉しない複数の光束に交換する手法を、以後SFINCS（Spatial Filter for INCoherent Stream）法と呼ぶことにする。

【0035】また本発明によると、前述のような従来の

2重焦点フィルター、あるいは3重焦点フィルターの使用時に問題となるリングングも、全く問題がなくなるが、この作用については実施例中で詳しく述べる。

【0036】

【実施例】図8は本発明の実施例による投影露光装置の全体的な構成を示す。図8において、水銀ランプ1から放射された高輝度光は楕円鏡2によって第2焦点に収斂した後、発散光となってコリメータレンズ4に入射する。その第2焦点の位置にはロータリーシャッター3が配置され、照明光の通過、遮断を制御する。コリメータレンズ4によってほぼ平行光束に変換された照明光は、干渉フィルター5に入射し、ここで露光に必要とされる所望のスペクトル、例えばi線のみが抽出される。干渉フィルター5を射出した照明光（i線）は、光学カルインテグレータとしてのフライアイレンズ7に入射する。もちろんi線以外の波長、あるいは複数の波長を使用してもよく、また光源自体もレーザー等でもよい。図中、偏光制御部材6は本発明の実施形態によっては使用するものであり、詳しくは後述する。

【0037】さて、フライアイレンズ7に入射した照明光（ほぼ平行光束）は、フライアイレンズ7の複数のレンズエレメントによって分割され、各レンズエレメントの夫々の射出側には2次光源像（水銀ランプ1の発光点の像）が形成される。従ってフライアイレンズ7の射出側にはレンズエレメントの数と同じ数の点光源像が分布し、面光源像が作られる。フライアイレンズ7の射出側には、面光源像の大きさを調整するための可変絞り8が設けられる。この絞り8を通った照明光（発散光）はミラー9で反射され、集光レンズ系10に入射した後、レチクルブラインド11の矩形の開口部を均一な照度分布で照射する。図8では、フライアイレンズ7の射出側に形成される複数の2次光源像（点光源）のうち、光軸AX上に位置する1つの2次光源像からの照明光のみを代表的に図示してある。また集光レンズ系10によって、フライアイレンズ7の射出側（2次光源像が形成される面）はレチクルブラインド11の矩形開口面に対するフーリエ変換面になっている。従ってフライアイレンズ7の複数の2次光源像の夫々から発散して集光レンズ系10に入射した各照明光は、レチクルブラインド11上で互いにわずかずつ入射角が異なる平行光束となって重畳される。

【0038】レチクルブラインド11の矩形開口を通過した照明光はレンズ系12、ミラー13を介してコンデンサーレンズ14に入射し、コンデンサーレンズ14を射出する光が照明光ILBとなってレチクルRに達する。ここでレチクルブラインド11の矩形開口面とレチクルRのパターン面とは、レンズ系12とコンデンサーレンズ14との合成系によって互いに共役に配置され、レチクルブラインド11の矩形開口の像が、レチクルRのパターン面内に形成された矩形のパターン形成領域を

含むように結像される。図8に示すように、フライアイレンズ7の2次光源像のうち光軸AX上に位置する1つの2次光源像からの照明光ILBは、レチクルR上では光軸AXに対して傾きのない平行光束になっているが、これは投影光学系PLのレチクル側がテレセントリックだからである。もちろん、フライアイレンズ7の射出側には光軸AX上からずれて位置する多数の2次光源像

(軸外の点光源)が形成されるから、それらからの照明光はいずれもレチクルR上では光軸AXに対して傾いた平行光束となってパターン形成領域内で重畳される。

尚、レチクルRのパターン面とフライアイレンズ7の射出側面とが、集光レンズ系10、レンズ系12、コンデンサーレンズ14の合成系によって光学的にフーリエ変換の関係になっていることは言うまでもない。またレチクルRへの照明光ILBの入射角度範囲 ψ (図2参照)は絞り8の開口径によって変化し、絞り8の開口径を小さくして面光源の実質的な面積を小さくすると、入射角度範囲 ψ も小さくなる。そのため絞り8は、照明光の空間的コヒーレンシを調整することになる。その空間的コヒーレンシの度合いを表すファクタとして、照明光ILBの最大入射角 $\psi/2$ の正弦と投影光学系PLのレチクル側の開口数 NA_r との比(σ 値)が用いられている。この σ 値は通常、 $\sigma = \sin(\psi/2)/NA_r$ で定義され、現在稼働中のステッパの多くは、 $\sigma = 0.5 \sim 0.7$ 程度の範囲で使われている。本発明では、その σ 値がどのような値であってもよく、極端な場合 $\sigma = 0.1 \sim 0.3$ 程度であってもよい。

【0039】さて、レチクルRのパターン面にはクロム層によって所定のレチクルパターンが形成されているが、ここではクロム層が全面に蒸着され、その内に微小な矩形開口部(クロム層のない透明部)で形成された複数のコンタクトホールパターンが存在するものとする。コンタクトホールパターンはウェハW上に投影したとき、 $0.5 \mu m$ 角(又は径)以下の寸法になるように設計されていることもあり、投影光学系PLの投影倍率Mを考慮してレチクルR上での寸法が決められている。また互いに隣接するコンタクトホールパターン間の寸法は、通常1つのコンタクトホールパターンの開口部寸法に対してかなり大きくなっているため、孤立的な微小パターンとして存在する。すなわち、隣接する2つのコンタクトホールパターンは、それぞれから発生した光(回折、散乱光)が、回折格子のように互いに強く影響し合うことがない程度に離れていることが多い。ところが後で詳しく述べるが、かなり接近した配置でコンタクトホールパターンを形成したレチクルも存在する。

【0040】図8において、レチクルRはレチクルステージRSTに保持され、レチクルRのコンタクトホールパターンの光学像(光強度分布)は投影光学系PLを介してウェハWの表面のフォトレジスト層に結像される。ここで、図8中のレチクルRからウェハWまでの光路

は、結像光束の主光線のみで示す。そして投影光学系PL内のフーリエ変換面FTPには、先の図2、図3で説明した干渉性低減部材CCMが設けられる。この干渉性低減部材CCMは、瞳epの最大径をカバーする直径を有し、スライダ機構20によって光路外へ退出したり、光路内に進入したりすることができる。仮りにそのステッパが専らコンタクトホールパターンを露光するために使われるのであれば、干渉性低減部材CCMは投影光学系PL内に固定しておいてもよい。しかしながら、複数台のステッパによってリソグラフィ工程の露光作業を行う場合、各ステッパのもっとも効率的な運用を考えると、特定の一台のステッパをコンタクトホールパターン専用の露光に割り当てることは躊躇される。そのため、干渉性低減部材CCMは投影光学系PLの瞳epに対して挿脱可能に設け、コンタクトホールパターン以外のレチクルパターンの露光時にも、そのステッパが使えるようにしておくことが望ましい。尚、投影光学系によっては、その瞳位置(フーリエ変換面FTP)に実効的な瞳径を変えるための円形開口絞り(NA可変絞り)を設けることもある。この場合、その開口絞り干渉性低減部材CCMは機械的に干渉しないように、かつできるだけ接近して配置される。

【0041】さて、ウェハWは、光軸AXと垂直な面内で2次元移動(以下、XY移動とする)するとともに、光軸AXと平行な方向に微動(以下、Z移動とする)するウェハステージWST上に保持される。ウェハステージWSTのXY移動、Z移動は、ステージ駆動ユニット22によって行われ、XY移動に関してはレーザ干渉計23による座標計測値に従って制御され、Z移動に関してはオートフォーカス用のフォーカスセンサー24の検出値に基づいて制御される。ステージ駆動ユニット22、スライダ機構20等は、主制御ユニット25からの指令で動作する。この主制御ユニット25は、さらにシャッタ駆動ユニット26へ指令を送り、シャッター3の開閉を制御するとともに、開口制御ユニット27へ指令を送り、絞り8、又はレチクルブラインド11の各開口の大きさを制御する。また主制御ユニット25は、レチクルステージRSTへのレチクルの搬送路中に設けられたバーコードリーダー28が読み取ったレチクル名を入力できるようになっている。従って主制御ユニット25は、入力したレチクル名に応じてスライダ機構20の動作、開口駆動ユニット27の動作等を統括的に制御し、絞り8、レチクルブラインド11の各開口寸法、及び干渉性低減部材CCMの要、不要を、そのレチクルに合わせて自動的に調整することができる。

【0042】ここで図8中の投影光学系PLの一部分の構造を、図9を参照して説明する。図9は全て屈折性硝材で作られた投影光学系PLの部分的な断面を示し、前群のレンズ系GAの最下部のレンズGA1と後群のレンズ系GBの最上部のレンズGB1との間の空間中にフー

10

20

30

40

50

リエ変換面FTPが存在する。投影光学系PLは複数枚のレンズを鏡筒で保持しているが、干渉性低減部材CCMの挿脱のために、鏡筒の一部に開口部を設ける。また干渉性低減部材CCM、及びスライダ機構20の全部、又は一部を、外気に直接露出させないようなカバー20Bを、鏡筒の開口部から延設する。このカバー20Bは外気に浮遊する微小なダストが投影光学系PLの瞳空間内に進入するのを防ぐ。スライダ機構20には、回転モータ、ペンシリンダー、ソレノイド等のアクチュエータ20Aが結合されている。さらに、鏡筒の一部に瞳空間に連通する流路Afを設け、パイプ29を介して温度制御されたクリーンエアを瞳空間へ供給することで、干渉性低減部材CCMの露光光の一部吸収による温度上昇、及び瞳空間全体の温度上昇を押さえるようにする。尚、瞳空間へ強制的に供給されたクリーンエアを、スライダ機構20、アクチュエータ20Aを介して強制的に排出するようにすれば、スライダ機構20等で発生した埃塵が瞳空間内に進入することを防止することができる。

【0043】図10は干渉性低減部材CCMの第1の実施例による構造を示し、図10(A)は光軸AXを通る点での断面図、図10(B)は平面図である。さて、図8中の光源(水銀ランプ1)からの光はランダムな偏光状態(種々の偏光状態の光の合成された光であり、かつその偏光状態が時間と共に変化する)であるとともに、そのコヒーレント長 ΔL_c は極めて短い。今、照明光をi線として、中心波長 $\lambda_0 = 365\text{nm}$ 、波長幅 $\Delta\lambda = 5\text{nm}$ であると、コヒーレント長 ΔL_c は以下のように求まる。

【0044】 $\Delta L_c = \lambda_0^2 / \Delta\lambda \approx 26\mu\text{m}$
図10に示す干渉性低減部材CCMは、紫外線に対して高い透過率を有する透明平行平板上に、中心CCから半径 r_1 から半径 r_2 の輪帯領域FBに厚さ h_1 の平行平板状の透過物体を貼りつけたものである。このとき、貼りつける透過物体の屈折率を n_1 とすると、厚さ h_1 は、 $(n_1 - 1)h_1 \geq \Delta L_c$ (コヒーレント長)を満たすようにする。すると、透過部FA、FCの各透過光と、透過部FBの透過光との間には $(n_1 - 1)h_1$ 、すなわちコヒーレント長 ΔL_c 以上の光路差が与えられ、両光束相互間の可干渉性が消失する。透過物体はガラスや石英、蛍石等であり、屈折率 n_1 は1.5程度なので、厚さ h_1 は $52\mu\text{m}$ 以上であれば良い。

【0045】また、中心透過部FAには、周辺透過部FCの透過光との間に $(2m+1)\pi$ [rad]の位相シフターを付加する。これは SiO_2 等の薄膜を蒸着、スパッター、CVD等で形成したものである。位相シフターの屈折率を n_2 とすれば、厚さ d は $(n_2 - 1)d = (m+1/2)\lambda_0$ 、($\lambda_0 = 0.365\mu\text{m}$)とすればよい。屈折率 n_2 が1.5程度であれば、例えば $m=0$ としたとき、厚さ d は $d = 0.365\mu\text{m}$ とすればよ

い。

【0046】厚さ d は $m=1, 2, 3\cdots$ に対応してより厚くすることも可能ではあるが、シフターとしての薄膜の材質による光の吸収の問題が生じたり、厚くすることによって透過部FBの透過光と透過部FAの透過光との間に可干渉性が残留してしまう等の問題が生じたりするので、実用上は $m=0, 1, 2$ 程度に対応した厚さとする方がよい。同様に、透過部FBに付加する透過平行平板の厚さ h_1 も、あまり厚いと吸収や幾何光学的な収差への悪影響を生じるので、必要以上に厚くすることは得策ではない。

【0047】また図10に示した例の変形として、平行平板状である基板自体を加工して、輪帯透過部FBに凸部又は凹部の段差を与えてもよい。この場合も段差 h_1 (すなわち透過部FA、FCと透過部FBの厚さの段)は基板の屈折率を n_0 として、 $(n_0 - 1)h_1 \geq \Delta L_c$ とする。図11は干渉性低減部材の第2の実施例を示す。図11の例では、中間の輪帯透過部FBに別の平行平板を貼り付ける代わりに、その透過部FBにイオン打ち込み法等によって部分的に他より屈折率の高い領域を作る。この部分の屈折率を n_3 、他の部分の屈折率を n_0 とし、かつ深さを h_2 とすれば、 $(n_3 - n_0)h_2 \geq \Delta L_c$ であれば、透過部FBの透過光と他の透過部FA、FCの透過光との間の干渉性は消失する。この例でも、中心の透過部FAには厚さ d の位相シフターを設けた。厚さ d の条件は図10の例と同様である。

【0048】図12に干渉性低減部材CCMの第3の実施例による構成を示す。これは、顕微鏡による試料観察用のプレパラートのカバーガラス、高分子による薄膜(ベリクル)、又はアクリル薄板等のような薄い透明基板(厚さ h_3)の一部を図12(B)に示す如くくり抜いたものであり、くり抜き部が中間の透過部FBにあたる。中心の透過部FAを周辺の透過部FCと分離させないために、何本かの支柱eによって両者を結合させておく。薄い透明基板の厚さを h_3 、屈折率を n_5 としたとき、 $(n_5 - 1)h_3 \geq \Delta L_c$ であれば、透過部FA、FCの各透過光と透過部FBの透過光との間の干渉性は消失する。尚、この例でも中心の透過部FAには厚さ d の位相シフターを付加する。支柱eは遮光性であるのが望ましいが、透過性であってもその支柱部の面積は小さいため、結像性能への悪影響はほとんどなく、金属膜等を付けて遮光部にしてしまうこともできる。

【0049】尚、図12の例では干渉性低減部材CCMの厚さ h_3 を薄くする($\approx 52\mu\text{m}$ 程度)ことができるので、干渉性低減部材CCM等の平行平板を瞳面に設けることを前提にせずに設計、製造されている従来の投影光学系に挿入しても、干渉性低減部材CCMにより発生する幾何光学的な諸収差を少なく押さえることができる。一方、図10、11に示したように、ある程度厚さ(基板の厚さ)のある干渉性低減部材CCMでは、投影光学

系として瞳面に平行平板を備えて使用することを前提として、設計、製造されたものと用いることとなる。この場合には逆に、瞳面から干渉性低減部材CCMを除いた状態では幾何光学的な諸収差が悪化するので、コンタクトホール等以外の工程で使用する場合には干渉性低減部材CCMを光学系から取り除き、代わりにほぼ同様の厚さの平行平板を挿入するとよい。

【0050】以上の各実施例では、干渉性低減部材として光束間に時間的なコヒーレント長以上の光路差をつける部材を用いたが、他の方式の部材をもちいてもよい。図13は別の方式による干渉性低減部材の構成を示す第4の実施例であって、図13(A)、(B)は夫々断面図及び平面図を示す。中心透過部FAと周辺透過部FCとは、図13(C)に示すように中間透過部FBに対して直交する方向の直線偏光のみを透過する偏光板で構成し、透過部FBの透過光は透過部FA、FCの透過光の直線偏光方向と直交する。偏光方向の直交する直線偏光同士は互いに干渉し合わないのので、このように偏光特性を制御することでも、両光束の干渉性を解消(低減)することができる。

【0051】尚、図13(A)の如くこの場合も中心透過部FAには厚さdの位相シフト部材を設ける。これによって、透過部FAと透過部FCとが2重焦点フィルタを形成することは、これまでの実施例と全く同様である。また、厚さdの条件も前述と同様である。あるいは、図13(A)の位相シフターを廃止し、その代わりに透過部FA、FCの各偏光板の厚さ自体を異ならせて、 $(2m+1)\pi$ [rad]の位相差を与えてもよい。

【0052】また、図13の例の偏光板による干渉性低減部材CCMよりもウェハ側に1/4波長板($\lambda/4$ 板)を設けて、上記2つの直交する直線偏光を、互いに逆回転の円偏光に変えてしまってもよい。この場合にも、互いに逆回転の円偏光は干渉し合わないのので、偏光板と1/4波長板とを組み合わせた干渉性低減部材として用いることができる。このとき、1/4波長板の軸方向(屈折率の高い方向)は、上記の直交する2偏光の両者の偏光方向に対して45°ずれた方向としておく。

【0053】以上の偏光板を用いる実施例では、投影光学系PL中の干渉性低減部材CCMが偏光板で構成されているため、投影光学系PLを透過すべき本来の光量のうち半分の光量は干渉性低減部材CCMとしての偏光板に吸収されることになる。これは露光パワーの低下も意味するが、投影光学系内に熱(吸収した露光光のエネルギー)が蓄積することとなり、光学系や硝材の安定性という点で問題となる。

【0054】そこで、この熱の問題(露光パワーの損失)を解決する実施例を図14、15、16、17を参照して説明する。本実施例では、照明光ILBの偏光特性が重要になるので、まずそのことから説明する。図1

4は照明光学系中に設ける偏光制御部材6(図8)のいくつかの実施例を示したものである。図14(A)は偏光制御部材6として偏光板6Aを用いる例であり、ランダム偏光である水銀ランプ1からの入射光は特定の直線偏光となって射出される。図14(B)は偏光制御部材6として偏光板6Aと1/4波長板6Bとを組み合わせた例を示す。このときも、ランダム偏光である入射光は、偏光板6Aによって先ず直線偏光にされ、次に1/4波長板6Bにより、右回りまたは左回りのいずれか一方の円偏光となって射出される。このときも1/4波長板6Bの軸方向は偏光板6Aからの直線偏光を円偏光に変換する軸方向としておく。また光源からの光束(入射光束)自体が、直線偏光の場合、例えばレーザー光源を使用した場合には、レチクルRに達する照明光ILBは偏光制御部材6は設けなくても直線偏光となっている。しかしながら、後述する投影光学系内の偏光状態制御部材の構成によっては、図14(C)に示す如く、1/4波長板6Bのみを偏光制御部材6として設けて、円偏光にしておくともよい。この場合の1/4波長板6Bの軸方向も上述した通りに設定される。

【0055】さて、図14に示したような偏光制御部材6を用いてレチクルRへの照明光ILBの偏光特性を揃えておくと、コンタクトホールパターンを透過、回折して、投影光学系PL中の干渉性低減部材CCMに達する結像光束も特定の直線偏光、又は円偏光に揃った状態となっている。そこで照明光ILBが、例えば図14

(A)のように直線偏光に揃っている場合に好適な干渉性低減部材CCMの構造を第5の実施例として図15に示す。図15(A)は干渉性低減部材CCMとして1/2波長板を使用する例である。図15(A)は干渉性低減部材CCMに入射する直前の光(照明光ILB)の偏光状態を示し、ここでは同図中で上下方向に電場の振動面をもつ直線偏光であるものとする。図15(B)は干渉性低減部材CCMの平面構造を示し、半径 $r_1 \sim r_2$ の輪帯状透過部FBは1/2波長板で構成され、中心透過部FA、周辺の輪帯状透過部FCは中間の透過部FB(1/2波長板)とほぼ同等の厚さ(光学的厚さ)を持った通常の透明板(例えば石英)である。この図15の干渉性低減部材CCMを通過した直後の光の偏光状態は図15(C)に示すように、中間の輪帯状透過部FBの部分の偏光状態が左右方向の直線偏光に変換され、中心透過部FA及び周辺の輪帯状透過部FCの部分では偏光状態は何ら変化しない。このため、先の第1の実施例と同様に結像光束を互いに干渉し合わない偏光状態に分けることができる。ここで、透過部FBとしての1/2波長板の軸方向(面内の回転)は、入射する直線偏光の方向をそれと直交する方向に変換する軸方向に設定されるが、1/2波長板の軸方向と照明光ILBの偏光方向とを最適化するように、干渉性低減部材CCMと偏光制御部材6とを面内で回転方向に相対的に調整できるように

してもよい。

【0056】あるいは干渉性低減部材CCMとして、半径 $r_1 \sim r_2$ の輪帯状透過部FBと中心の円形透過部FA、周辺の輪帯状透過部FCとを共に $1/4$ 波長板(ほぼ同一厚)で構成してもよい。この場合も入射する光束は図15(A)のように全て直線偏光なので、各透過部FA、FBの $1/4$ 波長板の軸方向を入射光束の偏光状態に対して互いに逆方向の円偏光となるように最適化することにより、輪帯状透過部FBを通過した光束は右回りの円偏光に、中心の円形部FA及び周辺の輪帯状透過部FCを通過した光束は左回りの円偏光に変換でき、互いに偏光状態の異なる(干渉し合わない)光束を得ることができる。この場合も、上述の実施例と同様に干渉性低減部材CCMとしての $1/4$ 波長板の軸方向に合わせて、照明光ILBの偏光方向を偏光制御部材6により調整できるようにしておくといよい。尚、図15(B)に示した中間の輪帯状透過部FBとしての $1/2$ 波長板は、水晶等の旋光物質に代えてもよく、その場合でも全く同様に直線偏光の方向を変換することができる。

【0057】また、上記の $1/2$ 波長板又は $1/4$ 波長板を用いる実施例に対しては、照明光は直線偏光ではなくて、図14(B)、(C)のような円偏光を用いることもできる。すなわち、円偏光は図15(B)の如き干渉性低減部材によって輪帯透過部FBの透過光は逆回りの円偏光に変換され、他の透過部FA、FCの透過光は元の円偏光のままである。

【0058】あるいは透過部FA、FCと透過部FBとを軸方向の異なる $1/4$ 波長板とする例でも、入射する円偏光は夫々直交する直線偏光に変換され、やはり互いに干渉し合わない2つの光束に分割される。また、入射光束(照明光ILB)が円偏光であると、 $1/2$ 波長板や $1/4$ 波長板の軸方向を照明光の偏光特性に合わせて回転調整する必要がなくなるので好都合である。

【0059】以上のように図14に示した偏光制御部材6と図15に示した干渉性低減部材CCMを用いると、先に述べたような偏光板を用いた干渉性低減部材CCMでの露光エネルギーの吸収の問題がなくなり、投影光学系PL内での熱蓄積が押さえられる点で極めて好都合である。しかしながら、今度は照明光学系中で照明光ILBを1つの偏光状態に揃えることに伴う光量損失(半分以上)が問題点として残る。そこで照明光の光量損失を低減させた照明系の一例を、図16を参照して説明する。図16の系は図14中の偏光制御部材6の代わりに設けられるものである。まず、図16(A)において入射光束は2つの偏光ビームスプリッター6C、6Dにより分割、合成される。すなわち、1番目の偏光ビームスプリッター6CではP偏光(上下方向の偏光)成分が透過して2番目の偏光ビームスプリッター6Dも透過して直進する。一方、ビームスプリッター6Cで分割されたS偏光(紙面と垂直な方向の偏光)成分はミラー6E、

6Fを介してビームスプリッター6Dで合成され、P偏光成分と同軸になって進む。このとき、ミラー6E、6Fの光路によってP偏光とS偏光とに光路差 $2 \times d_1$ を与える。従って入射光束の時間的コヒーレント長 ΔL_c が $2d_1$ より短かければ、合成後のP偏光成分とS偏光成分とは、偏光方向が相補的であることの他に時間的にもインコヒーレント(非可干渉)になる。これら2つの偏光成分を持った照明光が使われ、干渉性低減部材CCMとして図15(B)のものが使われると、図17

(A)に示す通り、干渉性低減部材CCMに入射するP偏光成分(例えば白ヌキの矢印方向)とS偏光成分(例えば黒ヌキ矢印方向)は、それぞれ図17(C)のように干渉性低減部材CCMを透過した後では互いに干渉し合わない4つの光束となる。すなわち、中間の輪帯状透過部FB($1/2$ 波長板)では元の偏光方向が 90° だけ回転させられる。この4つの光束はそれぞれ偏光方向が異なるとともに、透過部FA、FCと透過部FBとで偏光方向が同一であっても時間的にインコヒーレントであるために干渉し合うことはない。すなわち、透過部FBを通過したS偏光成分はP偏光成分に変換され、透過部FA、FCを透過したP偏光成分と同一偏光方向となるが、その2つの光は時間的にインコヒーレントであるので干渉しない。もし、図16(A)のような構成の偏光制御部材からの照明光を用いないと、図17中のP偏光とS偏光は時間的にはコヒーレントのままであるため、干渉性低減部材CCMを透過した後の各光束も偏光方向が同じであれば互いに干渉し合うこととなり、本発明の効果は薄らぐ。図16(A)に示した系は合成すべき2つの偏光成分の光路長差を大きくとることができるので、比較的に時間的コヒーレント長の長い光源、例えば狭帯化したレーザ光源等に適している。

【0060】尚、レーザ光源として直線偏光を使用する場合は、あえて図16(A)の構成の偏光制御手段を用いなくても、本発明の効果を得ることができる。ただし、直線偏光のレーザ光源に対して図16(A)の如き偏光制御手段を用いると、照明光を時間的にインコヒーレントな2つの光束とすることができるため、レーザ光源使用時に問題となるスペックルや干渉縞(照度ムラ)を低減することができるという効果がある。この場合、図16(A)の1段目のビームスプリッター6Cに入射する直線偏光の偏光方向は、偏光ビームスプリッター6Cに対して図16(A)に示すように、P偏光方向とS偏光方向との中間(両者から 45° 方向)の偏光方向LPとするとよい。

【0061】ところで、光源が水銀ランプのように比較的大きなスペクトル幅を有する光源の場合にはその時間的コヒーレント長は短いので、図16(B)のような簡単な部材を図8中の偏光制御部材6として用いることができる。この部材は石英等の透明平行平板6Gの表面に偏光反射膜6Hを付け、裏面に金属等で全反射膜6Jを

付けたもので、水銀ランプからのコリメートされた光束を所定角度で反射するように配置される。このとき、水銀ランプからのランダム偏光の入射光のうち、S偏光成分（紙面と垂直な方向）は表面の膜6Hで反射され、P偏光成分は表面の膜6H、平行平板6Gを透過して裏面の膜6Jで反射され、S偏光成分とP偏光成分とはほぼ平行平板6Gの厚さ（光学的厚さ）のほぼ2倍に相当する光路差が与えられる。例えば水銀ランプからのi線の場合、前述の如くコヒーレント長 ΔL_c は $26\mu m$ 程度となる。従って、十分に薄い平行平板6G（例えば1mm厚程度）であっても、時間的コヒーレンスを消すために十分な光路長差を与えることができる。

【0062】また、別の実施例として図16(A)、又は(B)の系の射出側に $1/4$ 波長板を設けて2つの直線偏光を、互いに逆方向の円偏光に変換してもよい。このとき、図17(B)の干渉性低減部材CCMを透過した後の光束は同様に、4つの互いに干渉し合わない光束に分割される。そしてそれらは互いに時間的に干渉し合わないか、逆回りの円偏光であるために干渉し合わないかのいずれかになっている。

【0063】尚、以上の $1/2$ 波長板、又は $1/4$ 波長板を用いる干渉性低減部材の実施例中での説明を省略したが、ここでも当然に中心透過部FAと周辺透過部FCとの透過光の間に $(2m+1)\pi$ [rad]の位相差を与える位相シフターを設ける。また、以上のいずれの実施例でも位相シフターは中心透過部FAに設けるとしたが、位相差は相対的なものなので、位相シフターを周辺透過部FCに設けても全く同様の効果が得られる。

【0064】また、 $1/2$ 波長板、 $1/4$ 波長板を用いる実施例については、図15、17の構成のように輪帯状透過部FBのみに、あるいは透過部FA、FCにも $1/2$ ないし $1/4$ 波長板を基板となる透明板に貼り付ける構成としてもよい。また、以上のすべての実施例において中心の円形透過部FAの外半径及び中間部の輪帯状透過部FBの内半径を r_1 、中間部の輪帯状透過部FBの外半径及び周辺部の輪帯状透過部FCの内半径を r_2 としたが、このとき、 $r_1:r_2$ の比 r_2/r_1 はほぼ1.7から2.0程度であるものとした。この理由については後述する。また、半径 r_3 は投影光学系の実効的な最大開口数(NAw)に相当する値となる。ところで、図8に示したウェハステージWSTの駆動ユニット22のうち、ウェハWを光軸方向に微動させる制御の中に、従来のFLEX法の機能を持たせてもよい。FLEX法の併用により本発明による焦点深度の増大効果をさらに増大させることができる。さらに本発明は投影型露光装置であればどのタイプのものにも適用できる。例えば投影レンズを用いたステッパタイプのものでもよく、あるいは反射屈折光学系を用いたステップアンドスキャン型のものであっても、 $1:1$ のミラープロジェクションタイプのものであってもよい。特にスキャンタイ

プ(ステップアンドスキャン)やミラープロジェクション方式では、レチクルやウェハを投影光学系の光軸と垂直な面内で走査移動させながら露光するため、従来のFLEX法の適用が難しいとされていたが、本発明はそのような走査型の露光方式の装置に極めて簡単に適用できるといった利点がある。

【0065】そこで等倍のミラープロジェクション方式のアライナーに本発明を適用した場合を図18、19を参照して説明する。図18において、水銀ランプ(Xe-Hg)ランプ1からの照明光は照明光学系1LSを介してレチクル(マスク)R上で円弧スリット状の照明領域内に投射される。レチクルRは1次元走査可能なレチクルステージRSTに保持され、ウェハステージWSTと同期して同一速度で移動する。投影光学系はレチクル側とウェハ側の夫々に反射面 MR_1 、 MR_4 を有する台形状の光学ブロックと、大きな凹面ミラー MR_2 と小さな凸面ミラー MR_3 とで構成され、凸面ミラー MR_3 の曲率半径に対して凹面ミラー MR_2 の曲率半径は約2倍に設定されている。この図21のような系の場合、凸面ミラー MR_3 の表面がレチクルパターン面(又はウェハ面)に対するフーリエ変換面FTPに一致していることが多い。

【0066】このとき、レチクルR上の点Prから発生した結像光束は主光線LLPに沿って、反射面 MR_1 、凹面ミラー MR_2 の上側、凸面ミラー MR_3 の全面、凹面ミラー MR_2 の下側、及び反射面 MR_4 の順に進み、ウェハW上の点Pr'に収束する。このように凸面ミラー MR_3 の表面が系の瞳面となっており、今まで述べてきた各実施例で使用した干渉性低減部材CCMがそのまま、あるいは若干の変形によって同様に用いることができる。

【0067】具体的には図19(A)に示すように干渉性低減部材CCMを凸面ミラー MR_3 の直近に配置し、凹面ミラー MR_2 から凸面ミラー MR_3 へ入射してくるときと、凸面ミラー MR_3 から凹面ミラー MR_2 へ射出していくときとの2回(往復)の光路で、中心の円形透過部FAと周辺透過部FCを通った光束と中間の輪帯透過部FBを通った光束とがコヒーレント長 ΔL_c 以上の光路長差をもつように構成すればよい。

【0068】あるいは図19(B)に示すように、フーリエ変換面となつる凸面ミラー MR_3' の表面に所定の半径(面積)で微小な段差を設け、その段差の上面部と下面部とが反射光束に対してコヒーレント長 ΔL_c 以上の光路長差(段差量の2倍)を与えるようにしてもよい。この場合、その段差はミラー MR_3' と一体に形成されることもあるが、いずれにしろその段差部分が干渉性低減部材CCMに相当する。尚、図19(B)に示した凸面ミラー MR_3 の表面に形成する段差部は、透過物体(薄膜)としてもよい。その場合、凸面ミラーMRの表面とその透過物体(透過部FAに相当)の表面との段

差、すなわち透過物体の厚み d は、屈折率 n の透過物体中を光束が往復することにより生じる光路長差 $2(n-1)d$ がコヒーレント長 ΔL_c より大きくなるように定められる。

【0069】また透過部FA、FB、FCのいずれかに $1/2$ 波長板や $1/4$ 波長板を組み合わせ、偏光状態を制御する場合は往復の光路で2倍の偏光作用を受けることを考慮して $1/2$ 波長板は $1/4$ 波長板に、 $1/4$ 波長板は $1/8$ 波長板にそれぞれ変更する必要がある。またエキシマレーザを光源とする投影露光装置では、投影光学系の瞳面に、フライアイレンズ等の射出側に形成される2次光源面(多数の点光源)が再結像されるため、その瞳面に光学素子(レンズ、反射面、開口絞り、CCM等)を配置すると長期間の使用によって、その光学素子が収斂した光源像のために劣化する可能性がある。そのため干渉性低減部材CCM等は瞳面に厳密に配置するのではなく、むしろ若干ずらして配置した方が好ましい。

【0070】また、以上の各実施例において、干渉性低減部材CCMを透過部材として使用する場合には、その界面(表面)に反射防止コートを実施しておくことにより、本発明の各実施例のうち、光束(照明光ILB)の時間的なコヒーレント長 ΔL_c 以上の光路差を与える方式の干渉性低減部材CCMによって分割された結像光束間の光路長差は、従来のSuper FLEX法で与えられる光路長差(波長 $1/2 \sim$ 数波長分)と比べて格段に大きなものとなる。さらにSuper FLEX法では、投影光学系の瞳面に配置されたフィルター(複素振幅透過率)を通った結像光束の全てがウェハW上で干渉(振幅合成)することにより変わりはなく、本発明とSuper FLEX法とは原理的に全く異なるものである。その原理的な違いによって、本発明においてはSuper FLEX法で得られなかった新たな効果が得られる。このことについては以下で述べるシミュレーションを参考にして説明する。尚、本発明で用いる干渉性低減部材CCMは、瞳面を通る結像光束(コンタクトホールパターンの場合、ほぼ一様に分布する)を瞳の径方向で複数部分に分割し、各部分光束間の干渉性を低減させる目的のためのみに作用する。従って各実施例で用いた干渉性低減部材CCMには、各部分光束によって互いに独立に結像した複数の像(P_{r1} 、 P_{r2} 等)の夫々のベストフォーカス位置(焦点位置)を、投影光学系の光軸AX方向に相互にずらす効果、すなわちある種の球面収差を与える効果は全くない。

【0071】次に本発明の各実施例によって得られる作用、効果について、シミュレーション結果をもとに説明する。図20(A)は以下のシミュレーションに用いた1辺がウェハ上で $0.3 \mu m$ に相当する正方形のコンタクトホールパターンPAであり、以下のシミュレーションでは図20(A)中のA-A'断面でのウェハ上での

像強度分布を扱うものとする。図20(B)は先の図3等にした干渉性低減部材CCMを示すもので、中心の円形透過部FAの半径 r_1 と中間の輪帯状透過部FBの外半径 r_2 との比 $r_1:r_2$ ($NA_1:NA_2$)は、前述のように $1:1.73$ ($=\sqrt{3}$)になるように定められている。また、投影光学系の最大開口数NAwに対応する半径 r_3 と r_1 、 r_2 の比は、 $r_1:r_2:r_3=1:\sqrt{3}:\sqrt{3}$ 、5を満たすように決められている。

尚、以下のシミュレーションは、全てNAw=0.57、露光波長はi線(波長 $0.365 \mu m$)という条件のもとで行った。また、照明光束のコヒーレンスファクターである σ 値は0.6とした。

【0072】さて、図20(C)、(D)、(E)はパターンPAのウェハ上での像強度分布を示し、それぞれベストフォーカス位置での強度分布 I_1 、 $1 \mu m$ のデフォーカス位置での強度分布 I_2 、 $2 \mu m$ のデフォーカス位置での強度分布 I_3 である。また図20(C)、

(D)、(E)中のEthはウェハ上のボジ型フォトリジストを完全に除去(感光)させるに必要な強度を示し、Ecはボジレジストが溶解(膜剥り)し始める強度を示す。各強度分布の縦方向の倍率(露光量)はベストフォーカスでのコンタクトホール径(Ethを横切るスライス部の幅)が $0.3 \mu m$ となるように設定した。比較のために図21(A)、(B)、(C)にそれぞれ通常の露光装置(低減部材CCMを取り除いたもの)によるベストフォーカス位置での強度分布 I_4 、 $1 \mu m$ のデフォーカス位置での強度分布 I_5 、 $2 \mu m$ のデフォーカス位置での強度分布 I_6 を示す。このときのシミュレーション条件も同様にNAw=0.57、波長 $\lambda=0.365 \mu m$ 、 $\sigma=0.6$ である。

【0073】図21(A)～(C)と先の図20(C)～(E)とを比較すると、本発明によるSFINCS法ではデフォーカス時の像強度の変化(コントラスト低下)が減少し、焦点深度が増大することがわかる。一方、図22は通常の投影露光装置にFLEX法を組み合わせたとときの像強度分布 I_7 、 I_8 、 I_9 の変化を表したものである。FLEX法の露光条件はベストフォーカス位置と、 $\pm 1.25 \mu m$ だけデフォーカスした位置の夫々で各1回の計3回の分割露光とした。この図21のシミュレーション結果と図20(C)～(E)のシミュレーション結果とを比較すると、本発明での焦点深度の増大効果はFLEX法と同程度に得られることがわかる。

【0074】次に本発明による上記各種の干渉性低減部材の各領域の半径 r_1 、 r_2 、 r_3 の比率について説明する。図23は前述の「光学系における結像性能とその改良方法に関する研究」等に述べられている理想的な2重焦点フィルターの振幅透過率 t_f を示す。尚、図23のグラフの横軸 r は投影光学系の光軸からの距離を表すが、その縮尺はここでは任意としておく。振幅透過率 t

f はデフォーカスによる波面収差が $1/2 \Delta F \cdot \alpha \cdot r^2$ であるため (α は比例定数)、 $t f = \cos(\beta r^2)$ (β は比例定数) となっている。このように理想的な振幅透過率 $t f$ は距離 r に応じて連続的に変化するが、このような透過率、かつ位相差を与えることは現実的には非常に難しく、実際には距離 r のある範囲で正の一定値、又は負の一定値を与えるようなフィルター (位相シフター) として作られる。

【0075】本発明で用いる干渉性低減部材 CCM の中心透過部 F A 及び周辺透過部 F C は、図 23 の振幅透過率 $t f$ の絶対値がある値以上となる距離 r の領域の夫々に対応している。例えば、振幅透過率 $t f$ の絶対値が $\sqrt{0.5}$ (≈ 0.707) である領域とすると、図 23 に示す如く中心部 F A の半径 r_1 と周辺部 F C の内半径 r_2 の比率は、 $1 : \sqrt{3}$ ($\approx 1 : 1.73$) となる。

【0076】振幅透過率 $t f$ の絶対値の境界は $\sqrt{0.5}$ (≈ 0.707) に限定する必要はなく、例えば 0.75 程度を境界にしてもよい。この場合の $r_1 : r_2$ はほぼ $1 : 1.83$ となる。但し、種々の条件でシミュレーションを行なった結果、 $r_1 : r_2$ は $1 : 1.7$ ($|t f| = \sqrt{0.5}$ の場合) から $1 : 2.0$ ($|t f| = 0.8$ の場合) 程度の範囲が良いことがわかった。要するに、図 23 中で $t f$ の絶対値が 0.7~0.8 よりも小さくなる距離 r の範囲内の光を、その範囲外の光に対してインコヒーレントにするのが本発明の S F I N C S 法である。

【0077】例えば図 24 に示すシミュレーション結果は、 $r_1 : r_2 : r_3 = 1 : 1.83 : 1.95$ とした場合のものであるが、先に図 20 に示した本発明による結果とほぼ同等の結果を得ることができる。また、図 25 に示すシミュレーション結果は、 $r_1 : r_2 : r_3 = 1 : 1.95 : 2.10$ の場合であるが、この場合も良好な結果を得ることができる。尚、図 24、25 中の像強度分布 $I_{10} \sim I_{15}$ はいずれも図 20 のコンタクトホールパターン P A によるものである。

【0078】反対に図 26、27 に示すシミュレーション結果は、夫々 $r_1 : r_2 : r_3$ が $1 : 2.31 : 2.50$ 及び $1 : 1.43 : 1.67$ の場合であるが、前者 (図 26) では焦点深度の増大効果が十分でなく、後者 (図 27) では 2 重焦点フィルターの効果 (透過部 F A、F C の各透過光同志のコヒーレント加算の効果) が強すぎて、 $1 \mu\text{m}$ デフォーカス時の強度が強くなりすぎてしまう。すなわち、 $1 \mu\text{m}$ デフォーカス時のコンタクトホールの径 (E t h レベルでのスライス幅) が設計値 ($0.3 \mu\text{m}$) に比べて大きくなり過ぎてしまうことになる。

【0079】図 28、29 は、さらに r_1 、 r_2 と r_3 との最適な関係を調べるためにそれぞれ $r_1 : r_2 : r_3 = 1 : \sqrt{3} : \sqrt{3}$ ($r_2 = r_3$)、及び $r_1 : r_2 : r_3 = 1 : \sqrt{3} : \sqrt{4}$ ($\sqrt{4} = 2$) としてシミュレーション

を行った結果を示す。前者の場合は図 28 の如く焦点深度の増大効果があまりなく、後者の場合は図 29 の如く 2 重焦点効果が強くなりすぎる (コンタクトホール径が大きくなり過ぎる) という問題がある。

【0080】従って、 r_1 、 r_2 と r_3 との関係は図 20 の例の如く $r_1 : r_2 : r_3 = 1 : \sqrt{3} : \sqrt{3}$ 、5 程度が良いことがわかる。また、 r_1 、 r_2 、 r_3 の各比率はこのように一義的な組み合わせのみが良いわけではなく、例えば図 24、25 に示したような結果を与える r_1 、 r_2 、 r_3 の組み合わせであってもよい。これらの組み合わせ、

$$r_1 : r_2 : r_3 = 1 : \sqrt{3} : \sqrt{3.5} \quad (\text{図 20})$$

$$= 1 : 1.83 : 1.95 \quad (\text{図 24})$$

$$= 1 : 1.95 : 2.10 \quad (\text{図 25})$$

においては、 $(r_1 + r_2) / 2 r_3$ の値が、それぞれ 0.7302、0.7256、0.7024 という関係が成り立つ。そこで、 r_1 、 r_2 、 r_3 は多少のマージンを考慮して、 $0.70 \leq (r_1 + r_2) / 2 r_3 \leq 0.75$ 程度の関係を満たすとよい。図 24~28 に示した各シミュレーションの諸条件は、 r_1 、 r_2 、 r_3 の比率以外は以前のシミュレーションと同一の条件である。従って、 r_3 は $NA_w = 0.57$ に相当している。

【0081】尚、最近の投影露光装置では投影光学系の NA、即ち瞳面での半径 r_3 を絞りにより可変とすることが出来るものがあるが、本発明に於いて、 $NA_w (r_3)$ の値が変化すると前述の r_1 、 r_2 、 r_3 の比率が変動することになる (但し、 $r_1 : r_2$ は変化しない)。従って、本発明の干渉性低減部材において半径 r_1 、 r_2 の比は変えずに絶対値を変えたものを複数用意し、NA の可変に応じて交換して使用するようにしてもよい。

【0082】あるいは、NA (r_3) が変化し、 r_1 、 r_2 、 r_3 の比が上述した最適条件よりずれる場合には、前述の F L E X 法を併用し、 r_1 、 r_2 、 r_3 の比の変化による焦点深度の減少等を補うこともできる。もちろん、 r_1 、 r_2 、 r_3 の比が最適化されたものであっても、F L E X 法の併用により焦点深度をさらに増すことができる。

【0083】図 30 は本発明のさらに別の実施例でのシミュレーション結果を示す。諸条件は以上のシミュレーションと同様であり、 $r_1 : r_2 : r_3$ も図 20 の例と同様、 $1 : \sqrt{3} : \sqrt{3}$ 、5 である。ただし、中心透過部 F A の振幅透過率を -1.0 から -0.4 に変更した (透過部 F C の振幅透過率を $+1$ とする)。図 30

(C) ~ (E) に示した像強度分布 $I_{28} \sim I_{30}$ のように、中心透過部 F A の振幅透過率を低下させる (透過部 F A に減光手段を設ける) と、コンタクトホール像の周囲に生じるリングングを、図 20 の場合 (減光手段を設けない場合) に比べて低減できるという利点がある。もちろん焦点深度の改善効果についても、図 20 の例と同

様に得られる。また、図24、25に示したシミュレーション条件で、やはり透過部FAに減光手段を設けてもよい。減光手段は、図30(B)等に示した干渉性低減手段CCMの中心円形透過部FAに薄い金属膜等を蒸着して形成する。

【0084】図31は比較のために従来のSuper FLEX法でのシミュレーション結果を示したものである。図31(A)、(B)、(C)は開口数NAwが0.57で、瞳中心点から0.548NAwの半径内の部分の複素振幅透過率を-0.3にしたフィルターを瞳に設けたときに得られるベストフォーカス位置での像強度分布 I_{31} 、1 μm のデフォーカス位置での像強度分布 I_{32} 、2 μm のデフォーカス位置での像強度分布 I_{33} を示す。Super FLEX法では図31のようにベストフォーカス位置での中央強度が高く、像プロファイルがシャープであるが、デフォーカス量による中心強度低下は、ある量から急峻に起こっている。しかしながら焦点深度の拡大効果としては、図20、24、25、30に示した本発明による効果と同程度である。ただし、Super FLEX法では本来の像(中心強度)の周辺に、図31(A)に示すようなサブピーク(リングン

グ)が発生する。これは、図31でシミュレーションのモデルとなった孤立したコンタクトホールパターンPAでは問題ないが、後述する近接した複数のコンタクトホールパターンへの適用時に大きな問題となる。

【0085】図32(A)、(B)、(C)はそのようなリングングを防止するために、図31でシミュレーションモデルとしたSuper FLEX法の瞳フィルターよりも作用を弱めたフィルターを用いた場合のシミュレーション結果を示す。この場合、投影光学系の開口数NAwは0.57とし、瞳中心部の半径0.447NAwに相当する部分内の複素振幅透過率を-0.3としたフィルターを用いる。図32(A)~(C)はそれぞれベストフォーカス位置での像強度分布 I_{34} 、1 μm のデフォーカス位置での像強度分布 I_{35} 、2 μm のデフォーカス位置での像強度分布 I_{36} を示し、確かに図31の場合に比べてリングングは弱くなるが、同時に焦点深度の増大効果も低減してしまう。

【0086】図33は中心間距離が0.96 μm (ウェハ上換算)で並んだ2つのコンタクトホール像(ウェハ上で0.3 μm 角)のベストフォーカス位置での強度分布のシミュレーション結果である。図20に示した条件でのSFINC法(本発明)による像強度分布 I_{37} は、図33(A)のように2つのホール像の間が膜べり値Ecより暗く、良好なレジストパターンが形成できる。ところが、図31に示した条件でのSuper FLEX法(1)では、図33(B)の強度分布 I_{38} のように、2つのホールパターンの夫々によるリングングが合成(加算)されてしまい、2つのホール像の中間に明るいサブピーク(膜べり強度Ec以上)が生じ、この部

分のレジストが膜べりしてしまう。このため、良好なレジスト像を得ることができない。一方、図32に示した条件でのSuper FLEX法(2)によって中心間距離が0.96 μm の2つのホールパターンを投影すると、その像強度分布 I_{39} は図32(C)に示すようになる。このように比較的効果の弱いSuper FLEX法(2)の場合は、リングングが少なく膜べりもないため、良好なレジスト像を得ることができる。ところが、この条件では図32で説明した通り、本発明でのSFINC法に比べて十分な焦点深度拡大効果を得ることができない。

【0087】以上、本発明の各実施例とその作用について説明したが、レチクルRへの照明光ILBに特定の偏光方向を持たせるとき、その偏光方向の適、不適を判断したり、あるいは干渉性低減部材CCMを通過した後の結像光束の偏光状態の良否を判断するために、投影光学系を通った光束の一部を光電検出する手段をウェハステージWST上に設けてもよい。また、ラインアンドスペースをもつレチクルを使用するときは、干渉性低減部材CCMを投影光学系PL外へ退出させ、照明系の一部をSHRINC法に適するように交換可能としてもよい。尚、コンタクトホールパターンの投影露光時に干渉性低減部材CCMを用いるとともに、SHRINC法又は輪帯照明光源等の変形照明系を併用するようにしてもよい。その場合、露光すべきレチクルをコンタクトホール用からラインアンドスペース用に交換するときは、干渉性低減部材CCMのみを退出させればよい。

【0088】また、本発明の各実施例に示した干渉性低減部材CCMは、円形状、あるいは輪帯状の透過部又は遮光部で構成したが、これは文字通りの形状に限られるものではない。例えば円形状の透過部又は遮光部は矩形を含む多角形に、輪帯状の透過部又は遮光部はその多角形を環状に取り囲む形状に、それぞれ変形してもよい。

【0089】さらに、以上の各実施例において中心の円形透過部FA、中間の輪帯状透過部FB、及び周辺の輪帯状透過部FCの各境界はそれぞれ半径 r_1 及び r_2 の位置で一致しているものとしたが、例えば干渉性低減部材の製造上の都合等により各領域の境界に遮光部(輪帯状)を設けても良い。この場合には、図4、図5中に示したデフォーカスによる波面収差が遮光部によりさらに減少するので、本発明による焦点深度の増大効果をさらに増すことができる。尚、この場合、半径 r_1 、 r_2 は夫々の遮光部(輪帯状)の中間として考えると良い。また、中心透過部FA中の光軸近傍部を遮光することにより、上記と同様に焦点深度の増大効果をさらに増すことも可能である。

【0090】

【発明の効果】以上、本発明によれば、コンタクトホール等の孤立的なパターンの投影露光時の焦点深度を、FLEX法、あるいはSuper FLEX法と同程度に

拡大させることができるとともに、FLEX法のように感光基板を光軸方向に移動、又は振動させることなく、またSuper FLEX法のように複雑な複素振幅透過率の関数をもつ空間フィルターを作成する必要もないと言った利点がある。特に本発明では、投影光学系の瞳面（フーリエ変換面）での空間的フィルタリングに伴って発生し易いリングング自体が十分に小さく押さえられるため、複数のコンタクトホールパターンが比較的接近して配置される場合であっても、Super FLEX法のようにリングングのサブピーク部の重量によって生じる悪影響（ゴースト像の発生等）は皆無になるといった大きな効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】従来の投影露光方法を説明する図。

【図 2】本発明の投影露光方法を実施するための原理的な構成を示す図。

【図 3】本発明における露光装置に使用する干渉性低減部材の原理的な構成を説明する図。

【図 4】図 3 の干渉性低減部材による焦点深度増大の原理を説明する図。

【図 5】図 3 の干渉性低減部材による焦点深度増大の原理を説明する図。

【図 6】従来の投影露光法における焦点深度の考え方を説明する図。

【図 7】従来の 2 重焦点フィルターにおける焦点深度の考え方を説明する図。

【図 8】本発明の実施例による投影露光装置の全体的な構成を示す図。

【図 9】投影光学系の一部の構造を詳細に示す断面図。

【図 10】本発明の第 1 の実施例による干渉性低減部材 CCM の構成を示す図。

【図 11】本発明の第 2 の実施例による干渉性低減部材 CCM の構成を示す図。

【図 12】本発明の第 3 の実施例による干渉性低減部材 CCM の構成を示す図。

【図 13】本発明の第 4 の実施例による干渉性低減部材 CCM の構成を示す図。

【図 14】本発明の実施例に適用される照明光学系の一部の変形例を示す図。

【図 15】本発明の第 5 の実施例による干渉性低減部材 CCM の構成とその作用を説明する図。

【図 16】偏光方向を制御した照明光学系の一部の構成を示す図。

【図 17】図 15 の第 5 の実施例による干渉性低減部材 CCM と図 16 の照明光学系とを組み合わせたとときの状態を示す図。

【図 18】本発明の各実施例が適用されるミラージュプロジェクション方式のアライナーの構成を示す図。

【図 19】図 18 のアライナーに、本発明の各実施例による干渉性低減部材 CCM を適用した様子を示す図。

【図 20】単独のホールパターンに対する本発明の SFINCS 法 ($r_1 : r_2 : r_3 = 1 : 1.73 : 1.87$) による効果を像強度分布としてシミュレーションしたグラフ。

【図 21】単独のホールパターンに対する従来の通常露光法による効果を像強度分布としてシミュレーションしたグラフ。

【図 22】単独のホールパターンに対する従来の FLEX 法による効果を像強度分布としてシミュレーションしたグラフ。

【図 23】コヒーレント加算（振幅合成）方式の 2 重焦点フィルターにおける振幅透過率の一例を示すグラフ。

【図 24】干渉性低減部材の半径比 $r_1 : r_2 : r_3 = 1 : 1.95 : 2.11$ の場合のシミュレーション結果を示すグラフ。

【図 25】干渉性低減部材の半径比 $r_1 : r_2 : r_3 = 1 : 1.83 : 1.95$ の場合のシミュレーション結果を示すグラフ。

【図 26】干渉性低減部材の半径比 $r_1 : r_2 : r_3 = 1 : 2.31 : 2.50$ の場合のシミュレーション結果を示すグラフ。

【図 27】干渉性低減部材の半径比 $r_1 : r_2 : r_3 = 1 : 1.43 : 1.67$ の場合のシミュレーション結果を示すグラフ。

【図 28】干渉性低減部材の半径比 $r_1 : r_2 : r_3 = 1 : \sqrt{3} : \sqrt{3}$ の場合のシミュレーション結果を示すグラフ。

【図 29】干渉性低減部材の半径比 $r_1 : r_2 : r_3 = 1 : \sqrt{3} : \sqrt{4}$ の場合のシミュレーション結果を示すグラフ。

【図 30】単独のホールパターンに対する本発明の SFINCS 法による効果を像強度分布としてシミュレーションしたグラフ。

【図 31】単独のホールパターンに対する従来の Super FLEX 法 (1) による効果を像強度分布としてシミュレーションしたグラフ。

【図 32】単独のホールパターンに対する従来の Super FLEX 法 (2) による効果を像強度分布としてシミュレーションしたグラフ。

【図 33】2 個の接近したホールパターンに対する各種露光法による効果を像強度分布としてシミュレーションしたグラフ。

【符号の説明】

R・・・レチクル

W・・・ウェハ

PL・・・投影光学系

FTP・・・フーリエ変換面（瞳面）

AX・・・光軸

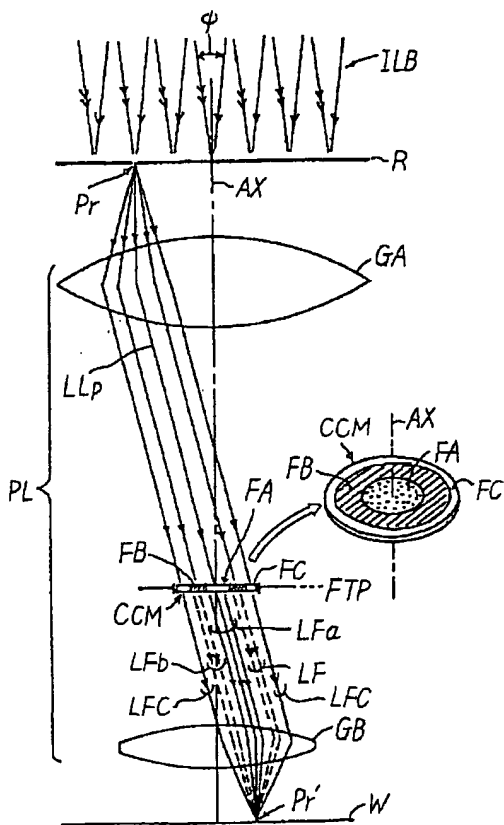
PA・・・ホールパターン

CCM・・・干渉性低減部材

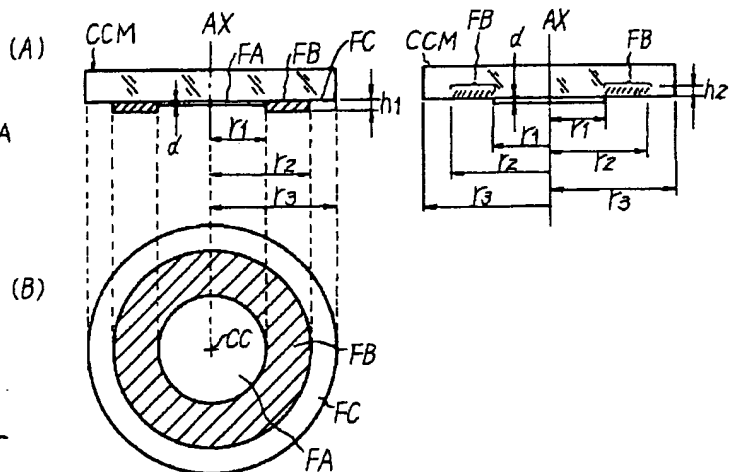
I L B . . . 照明光

F B . . . 輪帶狀透過部

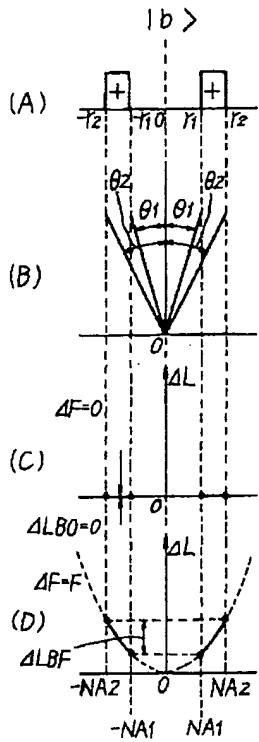
【図 2】



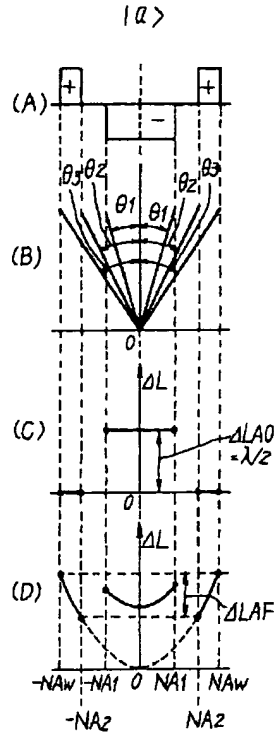
【图 1-1】



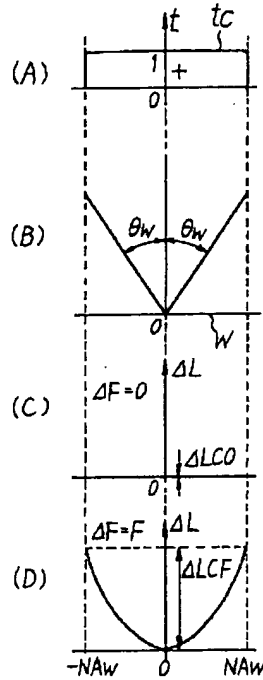
【図4】



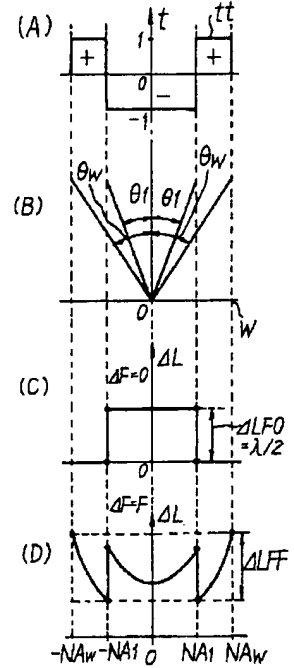
【図5】



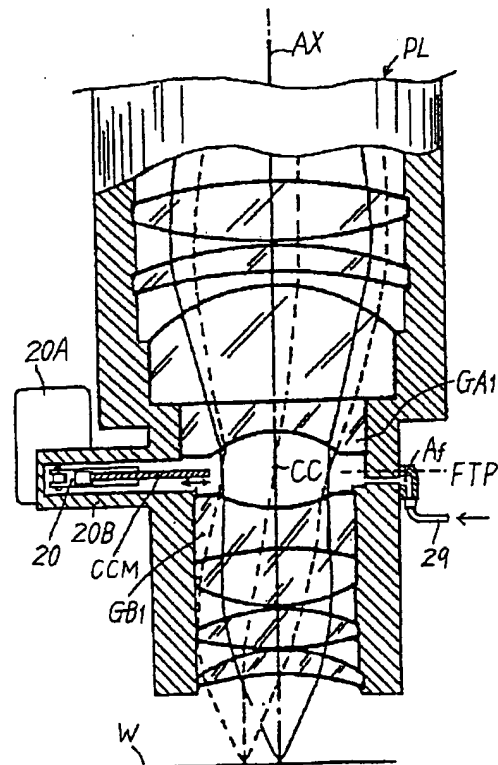
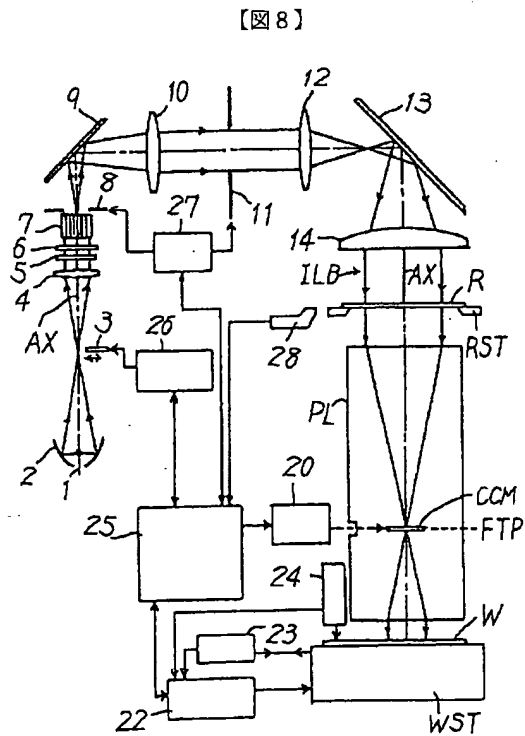
【図6】



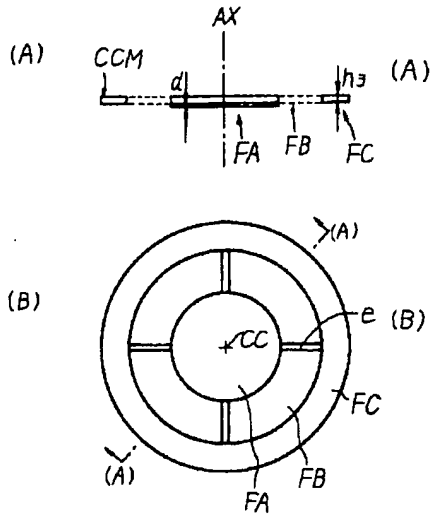
【図7】



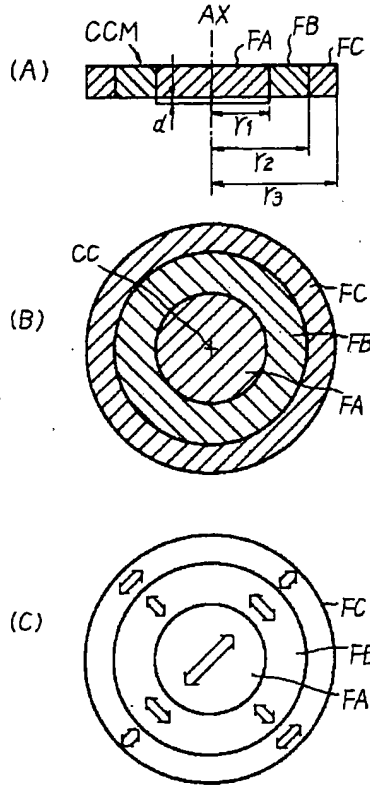
【図9】



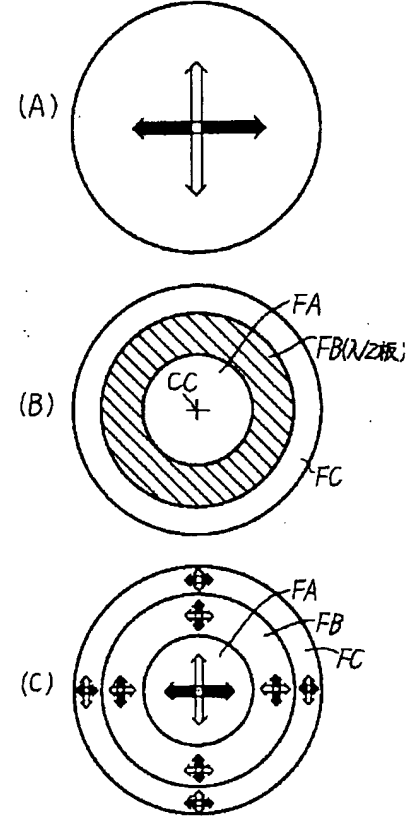
【図12】



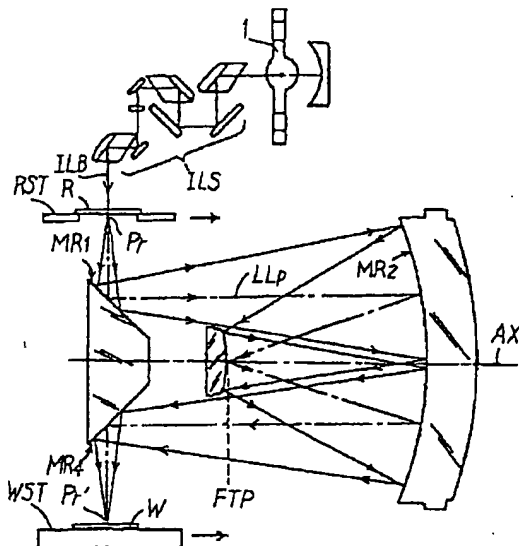
【図13】



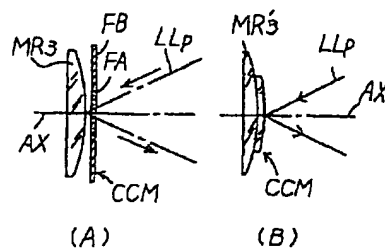
【図17】



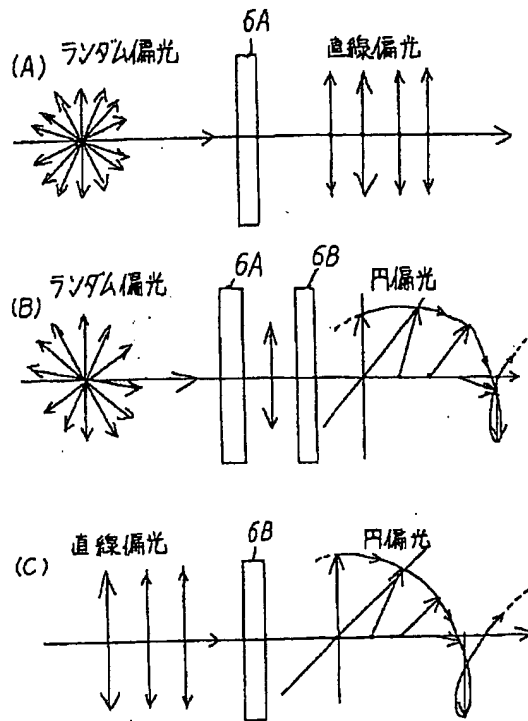
【図18】



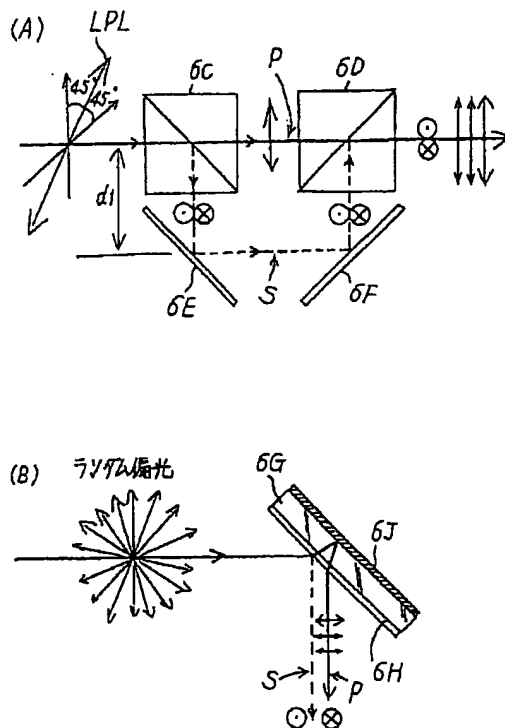
【図19】



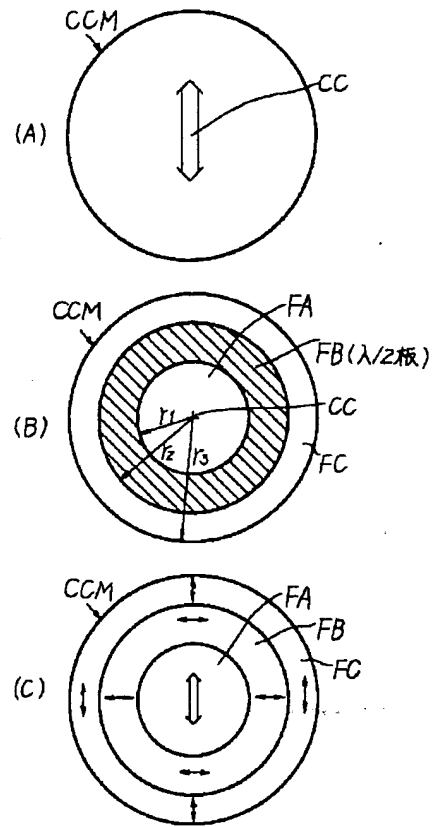
【図14】



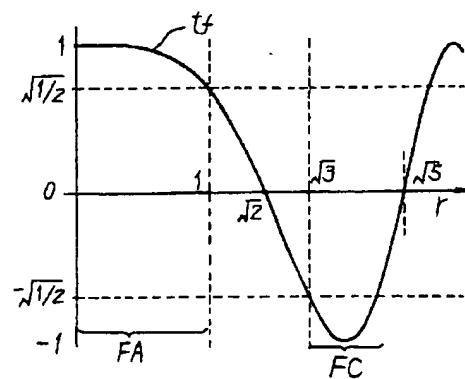
【図16】



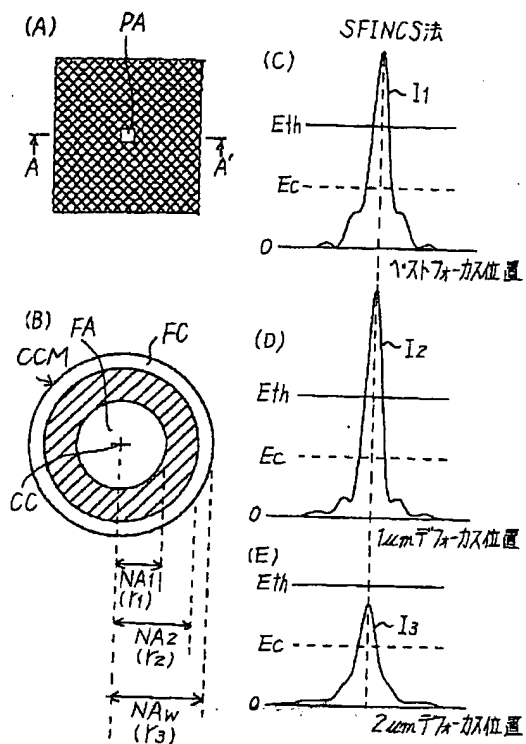
【図15】



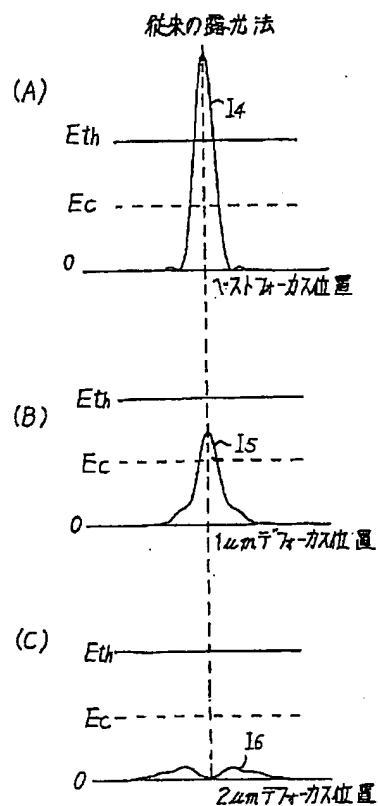
【図23】



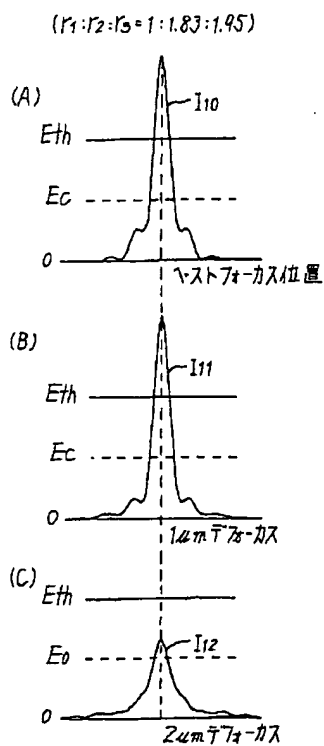
【図20】



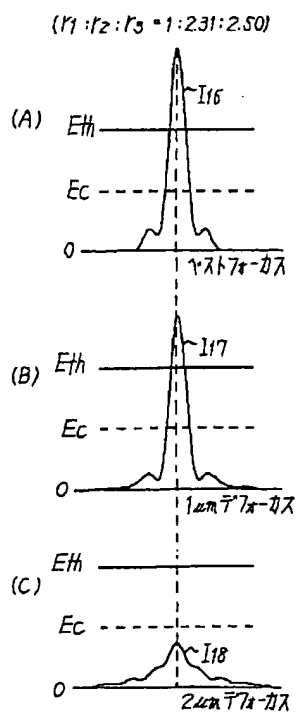
【図21】



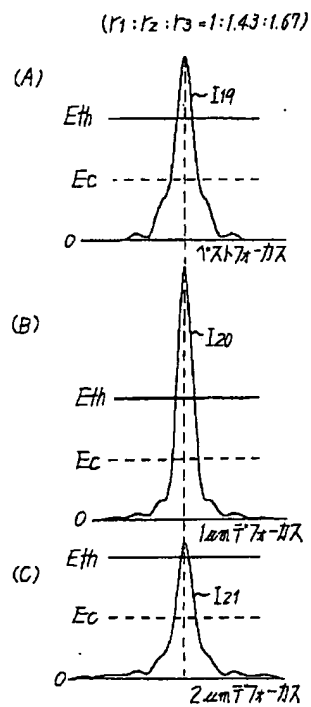
【図24】



【図26】

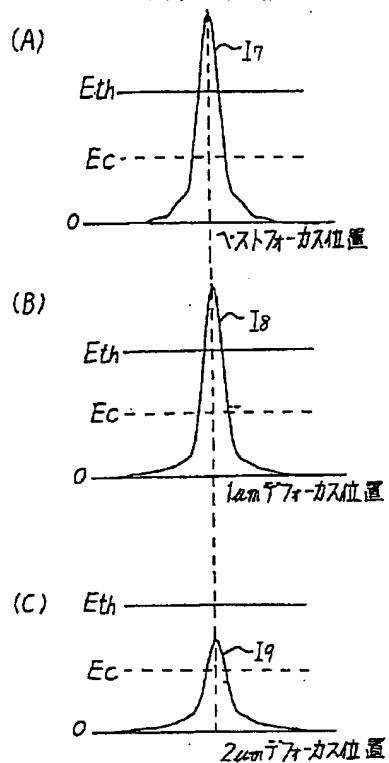


【図27】

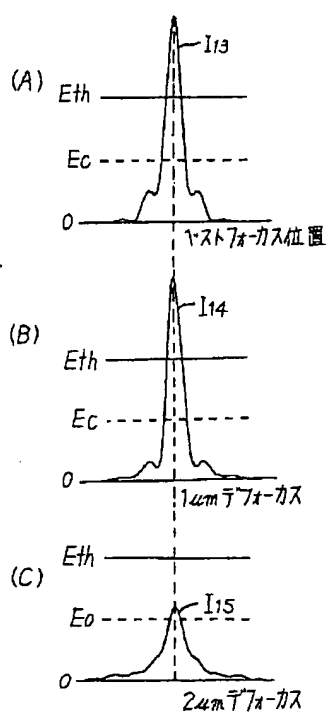


【図22】

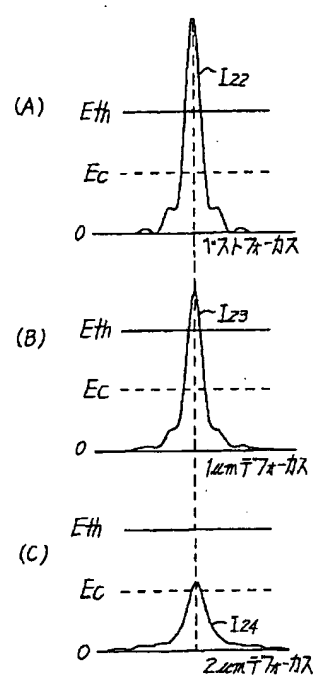
従来のFLEX法



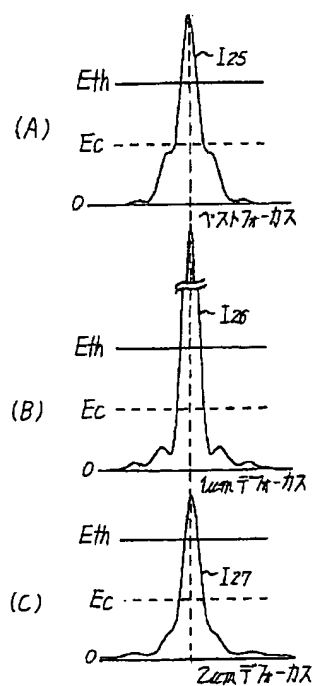
【図25】

 $(r_1:r_2:r_3 = 1:1.95:2.11)$ 

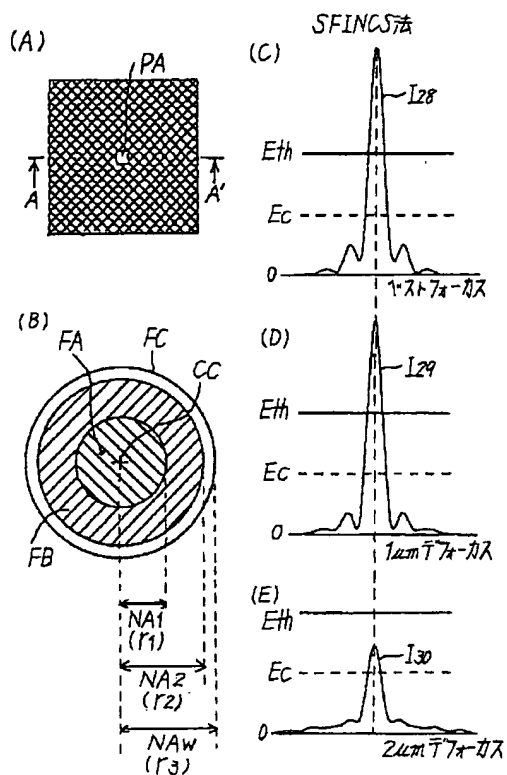
【図28】

 $(r_1:r_2:r_3 = 1:\sqrt{3}:\sqrt{3})$ 

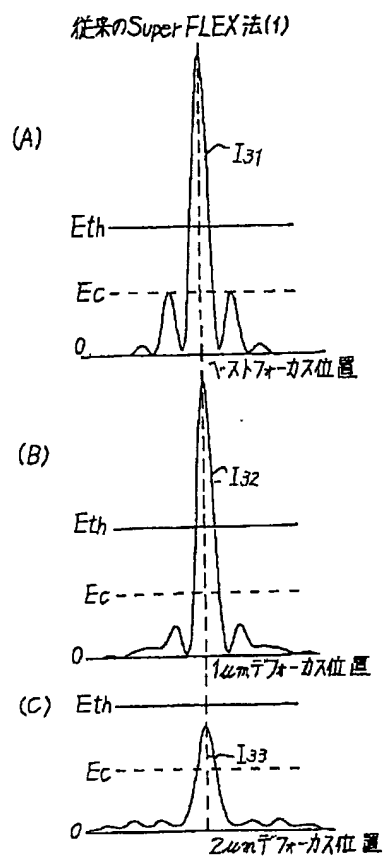
【図29】

 $(r_1:r_2:r_3 = 1:\sqrt{3}:\sqrt{4})$ 

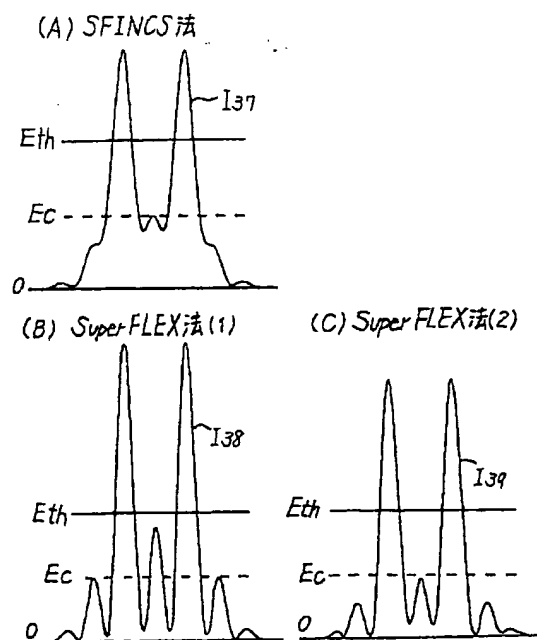
【図30】



【図31】



【図33】



【図32】

従来のSuperFLEX法(2)

